



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA DEL ECUADOR

CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

**Proyecto Técnico previo a la obtención del título de Ingeniería
Industrial**

***Título:** Auditoría lumínica y propuesta de mejoras al sistema de
iluminación del edificio D del Campus Centenario de la Universidad
Politécnica Salesiana*

***Title:** Light audit and proposed improvements to the lighting system of the
D building of the Centennial Campus of the Salesian Polytechnic
University*

Autor: Alvarado Dávila Juan Carlos

Bolaños Arroyo Jorge Erminsul

Director: Ing. Pablo Pérez Gosende Msc.

Guayaquil, 2018

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, Alvarado Dávila Juan Carlos y Bolaños Arroyo Jorge Erminul, declaramos que somos los únicos autores de este trabajo de titulación titulado “**Auditoría lumínica y propuesta de mejoras al sistema de iluminación del edificio D del Campus Centenario de la Universidad Politécnica Salesiana**”. Los conceptos aquí desarrollados, análisis realizados y las conclusiones del presente trabajo, son de exclusiva responsabilidad de los autores.

Alvarado Dávila Juan Carlos

CI: 0704616457

Bolaños Arroyo Jorge Erminul

CI: 0927208728

DECLARACIÓN DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Quienes suscriben, en calidad de autores del trabajo de titulación titulado “**AUDITORÍA LUMÍNICA Y PROPUESTA DE MEJORAS AL SISTEMA DE ILUMINACIÓN DEL EDIFICIO D DEL CAMPUS CENTENARIO DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**”, por medio de la presente, autorizamos a la UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA DEL ECUADOR a que haga uso parcial o total de esta obra con fines académicos o de investigación.

Alvarado Dávila Juan Carlos

Bolaños Arroyo Jorge Erminul

DECLARACIÓN DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Quien suscribe, en calidad de director del trabajo de titulación titulado “AUDITORÍA LUMÍNICA Y PROPUESTA DE MEJORAS AL SISTEMA DE ILUMINACIÓN DEL EDIFICIO D DEL CAMPUS CENTENARIO DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA”, desarrollado por los estudiantes Alvarado Dávila Juan Carlos y Bolaños Arroyo Jorge Erminul, previo a la obtención del Título de Ingeniería Industrial, por medio de la presente certifico que el documento cumple con los requisitos establecidos en el Instructivo para la Estructura y Desarrollo de Trabajos de Titulación para pregrado de la Universidad Politécnica Salesiana. En virtud de lo anterior, autorizo su presentación y aceptación como una obra auténtica y de alto valor académico.

Dado en la Ciudad de Guayaquil, a los 10 días del mes de mayo de 2018.

Ing. Pablo Pérez Gosende, Msc.

Docente Director del Proyecto Técnico

DEDICATORIA

A mis padres y mis abuelos quienes me apoyaron todo el tiempo con sus consejos y experiencias.

A mi esposa quien me apoyo y alentó para continuar, cuando parecía que me iba a rendir.

Alvarado Dávila Juan Carlos

Dedico este Proyecto Técnico a mis padres Erminsul y Estrella quienes con mucho cariño, amor y ejemplo han hecho de mí una persona con valores para poder desenvolverme como un hombre de bien.

Con todo mi cariño y mi amor para las personas que hicieron todo en la vida para poder lograr mis sueños, por motivarme y darme la mano cuando sentía que el camino se terminaba, a ustedes por siempre mi corazón y mi agradecimiento.

Bolaños Arroyo Jorge Erminsul

AGRADECIMIENTO

Le agradezco a Dios por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi vida y mi carrera, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y por brindarme una oportunidad más de vida.

Le doy gracias a mis padres Juan Carlos y Miriam por apoyarme en todo momento, por los valores que me han inculcado, y por haberme dado la oportunidad de tener una excelente educación en el transcurso de mi vida. Sobre todo, por ser un excelente ejemplo de vida a seguir.

A mis queridos Abuelitos Hugo (QEPD), Enrique, Raquel, Blanca, por quererme y apoyarme siempre, esto también se lo debo a ustedes.

A mis maestros les agradezco por todo el apoyo brindado a lo largo de la carrera, por su tiempo, amistad y por los conocimientos que me transmitieron.

Al Ing. Pablo Pérez, director de tesis, por su valiosa guía y asesoramiento a la realización de la misma.

A todos los colaboradores de los Departamentos de Dirección de Carrera y Bienestar Estudiantil, quienes con su experiencia y espíritu salesiano en sus corazones me ayudaron en momentos críticos de mi salud.

Alvarado Dávila Juan Carlos

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por extenderme siempre nuevas oportunidades.

A mis padres quienes a lo largo de toda mi vida han apoyado y motivado mi formación académica, creyeron en mí en todo momento y no dudaron de mis habilidades.

A mis profesores de la Carrera Ingeniería Industrial a quienes les debo gran parte de mis conocimientos, gracias por su paciencia y enseñanzas.

A mis hermanas, por su apoyo incondicional, por cada una de sus palabras que llegaron en el momento ideal y me motivaron a escoger esta carrera.

Bolaños Arroyo Jorge Erminul

RESUMEN

Este proyecto técnico fue realizado en la ciudad de Guayaquil en las instalaciones de la Universidad Politécnica Salesiana (UPS) y su objetivo fue el desarrollo de una auditoría lumínica y propuestas de mejoras al sistema de iluminación del Edificio D del Campus Centenario de dicha institución. Este trabajo de titulación se inserta dentro un proyecto de mayor alcance denominado “Modelo de Campus energéticamente sostenible” que desarrolla el Grupo de Investigación GIIMA de la UPS junto a la empresa de base tecnológica española Energesis Ingeniería. El proyecto busca reducir el gasto energético de las instalaciones del campus y reducir costos de consumo energético. Particularmente en este trabajo la metodología que se utilizó fue cuantitativa. Se hicieron mediciones de iluminancia con el uso de fluxómetros, se caracterizaron los puntos de luz y se midieron las longitudes entre las superficies de trabajo y tales puntos en todas las áreas. Se determinó que la mejor alternativa para sustituir el actual e ineficiente sistema de iluminación basado en tecnología fluorescente era la tecnología LED y la alternativa de lámpara idónea seleccionada mediante el método multicriterio de factores aditivos fue el modelo AL572518 de la marca Americanlite. Para ello, la matriz de decisión fue homogenizada mediante el método de la transformación lineal a escala y las ponderaciones fueron obtenidas mediante la aplicación del método del Triángulo de Füller. La propuesta de mejora incluye una guía de recambio de luminarias de forma progresiva, basada en el ahorro energético que se iría generando año a año después de su implementación. La propuesta fue validada técnicamente mediante simulación en DIALux 4.12 y desde el punto de vista económico mediante la estimación de su costo anual uniforme equivalente. Por último, se realizó una estimación del ahorro energético y económico anual que representaría la implementación de la propuesta.

Palabras claves: Auditoría lumínica, DIALux, iluminación LED, ahorro energético, costo anual uniforme equivalente.

SUMMARY

This technical project was carried out in the city of Guayaquil in the facilities of the Universidad Politécnica Salesiana (UPS). The main goal was to develop a light audit and to propose measurements of improvements to the lighting system of Building D at the Centenary Campus of the above-mentioned institution. This work takes part of a project of major scope called "Energetically sustainable campus model" that is executed by the GIIMA research group of the UPS along with Energesis Ingeniería, which is a spin-off from the University of Valencia. The project as a whole seeks to reduce the energetic expenses of the facilities of the campus and to reduce costs of energetic consumption. Particularly in this work the methodology used can be classified as quantitative. Illuminance measurements were made by means of fluxometers. The points of light were also characterized and the lengths between the work surface and such points in all the areas where measured. The authors determined that the best alternative to replace the current and inefficient lighting system based on fluorescent technology was the LED technology. The lamp Americanlite AL572518 was selected among other alternatives by means of the multicriterion method of additive factors. For this, the decision matrix was homogenized by means of the method of the linear transformation to scale and the weighting was obtained by means of the method of Füller's Triangle. The proposal of improvement includes a guide for progressive light replacement, based on the savings that would render the implementation of the proposal. The proposal was validated technically by means of simulation in DIALux 4.12 and from the economic point of view by means of the estimation of its equivalent uniform annual cost. An estimation of the energetic and economic savings after the implementation of the improvements measurements was also highlighted.

Key words: Light audit, DIALux, LED lighting, energy saving, equivalent uniform annual cost.

ÍNDICE GENERAL

Contenido	Pág.
Carátula	I
Declaración de responsabilidad	II
Declaración de cesión de derechos de autor	III
Declaración de dirección del trabajo de titulación	IV
Dedicatorias y agradecimientos	V
Resumen	VII
Summary	VIII
Índice General	IX
Índice de Tablas	X
Índice de figuras	X
Índice de gráficos	XI
Introducción	1
CAPÍTULO I	4
EL PROBLEMA	4
1.1 Antecedentes	4
1.2 Importancia y alcances	4
1.2.1 Beneficiarios	5
1.2.2 Importancia	5
1.2.3 Situación problematizante	6
1.3 Delimitación	6
1.4 Objetivos	7
1.4.1 Objetivo general	7
1.4.2 Objetivos específicos	7
CAPÍTULO II	
MARCO TEÓRICO	9
2.1 Antecedentes investigativos	9
2.2 Marco teórico referencial	11

Contenido	Pág.
2.2.1 Auditoría lumínica	11
2.2.2 Alcance de la auditoría lumínica	11
2.2.3 Sistema de iluminación	12
2.2.3.1 Luminarias	12
2.2.4 Magnitudes lumínicas	12
2.2.4.1 Flujo luminoso	13
2.2.4.2 Niveles de luminosidad	13
2.2.4.3 Intensidad luminosa	14
2.2.5 Nivel de iluminación	16
2.2.5.1 Luminancia	16
2.2.5.2 Contraste	17
2.2.6 Iluminación LED	18
2.2.6.1 Beneficios de iluminación LED	18
2.2.6.2 Tiempo de vida del bombillo LED	19
CAPÍTULO III	
MARCO METODOLÓGICO	21
3.1 Tipo de investigación	21
3.2 Diseño de la investigación	21
3.2.1 Fases de la investigación	21
3.3 Simulación de parámetros de iluminación. DIALux.	25
3.4 Especificaciones técnicas del marco legal	34
3.4.1 Normativa ecuatoriana de iluminación	34
3.4.2 Normativa internacional de iluminación	36
3.5 Costo Anual Uniforme Equivalente	38
CAPÍTULO IV	
RESULTADOS	39
4.1 Recolección de datos de iluminación	39
4.2 Caracterización de puntos de luz	42
4.3 Modelo y simulación de un aula típica del Edificio D	47
4.4 Cumplimiento de estándares nacionales e internacionales	48
4.5 Análisis de consumo energético del sistema de iluminación actual	53

4.6 Propuesta de mejora	53
4.6.1 Selección de luminarias	54
4.6.2 Estudio del gasto energético y costo de las luminarias LED	58
4.6.3 Guía para la sustitución del sistema de iluminación actual por tecnología LED	60
4.7 Validación de la propuesta de mejora	64
4.7.1 Validación técnica	65
4.7.2 Validación económica	66
4.7.3 Impacto en el ahorro energético y económico	70
Conclusiones	73
Recomendaciones	75
Bibliografía	76
Anexos	78

ÍNDICE DE TABLAS

Contenido	Pág.
Tabla 1. Magnitudes lumínicas fundamentales	12
Tabla 2. Lúmenes producidos por diferentes bombillas a diferentes potencias	19
Tabla 3. Tiempo de vida (h) de lámparas convencionales	18
Tabla 4. Modelo de hoja de toma de mediaciones	22
Tabla 5. Caracterización de luminarias	30
Tabla 6. Niveles de iluminación mínima para trabajos específicos y similares	34
Tabla 7. Parámetros de iluminación (Norma internacional)	36
Tabla 8. Datos de iluminancia del primer y segundo piso del Edificio D	40
Tabla 9. Datos de iluminación del tercer y cuarto piso del Edificio D	41
Tabla 10. Caracterización de los puntos de luz del primer piso	43
Tabla 11. Caracterización de los puntos de luz del segundo piso	44
Tabla 12. Caracterización de los puntos de luz del tercer piso	45
Tabla 13. Caracterización de los puntos de luz del cuarto piso	46
Tabla 14. Estado de cumplimiento de los niveles de iluminación establecidos en el Decreto 2393 en el Primer piso.	48
Tabla 15. Estado de cumplimiento de los niveles de iluminación establecidos en el Decreto 2393 en el segundo piso.	49
Tabla 16. Estado de cumplimiento de los niveles de iluminación establecidos en el Decreto 2393 en el tercer piso.	50
Tabla 17. Estado de cumplimiento de los niveles de iluminación establecidos en el Decreto 2393 en el cuarto piso.	51
Tabla 18. Consumo energético y costo mensual de energía en las instalaciones del Edificio D luminaria actual.	53
Tabla 19. Características de alternativas de luminarias disponibles en el mercado.	57
Tabla 20. Estimación de ponderaciones de los criterios de decisión	58

Tabla 21. Evaluación de las alternativas de luminancia respecto a los criterios de decisión.	58
Tabla 22. Consumo energético y costo mensual estimado de energía en las instalaciones del Edificio“D”.	59
Tabla 23. Guía para la sustitución de las luminarias actuales por tecnología LED primer piso	60
Tabla 24. Guía para la sustitución de las luminarias actuales por tecnología LED segundo piso	61
Tabla 25. Guía para la sustitución de las luminarias actuales por tecnología LED tercer piso	62
Tabla 26. Guía para la sustitución de las luminarias actuales por tecnología LED cuarto piso	63
Tabla 27. Costo de alternativa 1 (sistema de iluminación actual).	67
Tabla 28. Costo de alternativa 2 (sistema de iluminación basado en LEDs).	68
Tabla 29. Desagregación de montos dedicados a la compra de nuevas luminarias con el ahorro anual que representa el uso de tecnología LED frente a la tecnología fluorescente.	69
Tabla 30. Valores de CAUE para cada alternativa	71

ÍNDICE DE FIGURAS

Contenido	Pág.
Figura 1. Intensidad luminosa	15
Figura 2. Goniofotómetro	15
Figura 3. Nivel de iluminación	16
Figura 4. Superficie aparente e iluminada	17
Figura 5. Contraste de luminarias	17
Figura 6. Contraste de colores	17
Figura 7. Luxómetro modelo LM-100	22
Figura 8. Distanciómetro	22
Figura 9. Planos Edificio D original	23
Figura 10. Planos Edificio D puntos de medición	24
Figura 11. Ingreso a DIALux	25
Figura 12. Editor de dimensiones	26
Figura 13. Ventana creación de proyecto	28
Figura 14. Identificación de plano útil	28
Figura 15. Ingreso valor de plano útil	28
Figura 16. Pestaña Selección de luminarias	28
Figura 17. Catálogo de luminarias	29
Figura 18. Modelos de luminarias	29
Figura 19. Distribución de luminarias	30
Figura 20. Pestaña de selección de objetos	31
Figura 21. Descripción geométrica del objeto	31
Figura 22. Diseño de objetos de interior	32
Figura 23. Asistente para luminarias	32
Figura 24. Iniciar cálculo	33
Figura 25. Selección de escenas y opiniones de cálculo	33
Figura 26. Representación de valores de iluminancia simulados.	46
Figura 27. Representación de valores de iluminancia simulados.	65

INTRODUCCIÓN

Las auditorías eléctricas constituyen una práctica habitual en las empresas o instituciones que están comprometidas con la seguridad de su personal y que buscan reducir sus costos por concepto de consumo energético. Estas auditorías pueden realizarse para evaluar el avance de un programa o bien pueden realizarse al inicio del programa de seguridad eléctrica, para conocer en detalle la situación en que se encuentra la empresa. La información resultará muy valiosa y podrá ser utilizada luego como herramienta de medición para evaluar el mejoramiento continuo [1].

Los investigadores, pertenecientes al Instituto Finlandés de Medio Ambiente (SYKE), el Centro Nacional Finlandés del Consumidor y el Instituto Gubernamental Finlandés de Investigación Económica (VATT), afirman que las mayores reducciones en vivienda estarían relacionadas con cambios en el aspecto energético. El ahorro de calefacción y electricidad y la promoción de dispositivos eficientes desde el punto de vista energético son otras formas de garantizar dichas reducciones.

En el Ecuador no se ha establecido una ley que exija la auditoria lumínica en las instituciones públicas como en las privadas, sin embargo, sería importante su aplicación debido a las consecuencias que existen por la deficiencia de iluminación, las cuales describimos a continuación:

Según estudios como una investigación de la Universidad de Cornell y otro de la Sociedad Norteamericana de Diseñadores de Interiores, dificultades como fatiga visual, agotamiento, estrés y jaquecas son los principales malestares relacionados con la iluminación en las empresas, aunque también la falta de atención y desánimo son otros factores que pueden causar accidentes, ausentismo laboral y bajo rendimiento.

"La función más relevante de la iluminación en espacios de trabajo es apoyar la tarea del colaborador, por lo que este criterio debe prevalecer a la hora de elegir las soluciones. Un ejemplo muy simple del efecto perjudicial de la iluminación inadecuada es cuando las personas deben forzar la vista constantemente para ver pantallas o documentos. Esta situación afecta la salud y la productividad del trabajador, además de incidir en su estado

de ánimo", aseguró Sergio Campos [2], project manager de Sylvania, empresa fabricante de productos de iluminación.

La iluminación dentro de las instalaciones de la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil es un recurso insustituible dentro de la instrucción, al mismo tiempo de ser obligación de la institución educativa brindar un ambiente adecuado y cumplir con estándares de calidad.

En los últimos años la Universidad ha crecido en infraestructura y esto evidentemente ha impactado en su consumo energético, pero se desconoce si los niveles de iluminación actuales se ajustan a los estándares nacionales e internacionales en materia de iluminación, pues en la literatura no fue posible encontrar investigaciones con este objetivo.

Este proyecto se inserta dentro de otro de mayor alcance que busca convertir al campus Centenario de la UPS en un campus energéticamente sostenible, el mismo que es dirigido por el grupo de investigación GIIMA de la UPS y tiene como finalidad reducir costos de consumo energético en la Institución.

Este trabajo de titulación en particular tuvo como objetivo general realizar una auditoría lumínica y proponer mejoras al sistema de iluminación del edificio D del Campus Centenario de la Universidad Politécnica Salesiana, Sede Guayaquil (UPS-G).

El trabajo está estructurado por 4 capítulos cuyo contenido se describe a continuación.

En el capítulo 1, se encontrará con el problema de la investigación, y se observó el alto costo de la energía eléctrica de la institución, que se ve reflejada en las planillas de este servicio básico en los últimos años, los antecedentes, la importancia y alcances de esta investigación, los beneficiarios, la delimitación y los objetivos que se desean alcanzar.

En el capítulo 2, está constituido de los fundamentos teóricos, se exponen cada uno de los conceptos que han sido investigados en las bibliografías de varios autores referentes al tema, así también, se presenta el marco conceptual.

En el capítulo 3, se presenta el marco metodológico, los métodos utilizados para el desarrollo de la investigación y la recolección de cada uno de los datos, los instrumentos que fueron utilizados para este fin.

Finalmente, en el capítulo 4, se exponen los resultados obtenidos de la auditoría lumínica que se aplicó al edificio D del campus de la Universidad Politécnica Salesiana de Guayaquil.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1. ANTECEDENTES

La Coordinación de Investigación de la Sede Guayaquil de la UPS a través del Grupo de Investigación en Matemática Aplicada (GIIMA) ha iniciado un proyecto de investigación en colaboración con la empresa española de base tecnológica Energesis Ingeniería (spin-off de la Universidad Politécnica de Valencia, España) que busca convertir el Campus Centenario de la UPS en un Campus energéticamente sostenible.

Como parte del proyecto se realizará un diagnóstico de la situación actual y se propondrá una estrategia de eficiencia energética y de integración de energías renovables, para convertir al campus en un referente tecnológico y modelo de sostenibilidad energética en la región. Al mismo tiempo, estas actuaciones irán acompañadas de un conjunto de cursos que permitirán formar a la comunidad universitaria y/o a los agentes locales en estas modernas tecnologías. El proyecto se ha definido para un período de ejecución de tres años (2017-2019).

El presente trabajo de titulación se inserta en la primera fase del antes mencionado proyecto de investigación y sus resultados serán insumos fundamentales para la toma de decisiones en materia de eficiencia energética en el Campus Centenario durante los próximos años.

1.2. Importancia y alcances

Este proyecto pretende constituir un aporte para la institución y en especial para toda la comunidad estudiantil, ya que con estos resultados se resolverá la problemática, orientados a la búsqueda de alternativas para mejorar la iluminación. Además, que la iluminación LED brinda una alta calidad de alumbramiento y con menos puntos energéticos se obtendrán mejores resultados.

La mayor duración de luminarias con tecnología LED, permite reducir considerablemente los costos de mantenimiento, además de generar un alto ahorro energético. Combinando

estas reducciones de costos la UPS-G puede recuperar la inversión de una instalación básica sin conexión a red con alumbrado LED en un periodo entre seis y diez años. [2]

1.2.1. Beneficiarios

Los beneficiarios de este proyecto serían la institución en sí, las autoridades actuales y las futuras ya que se obtendría una reducción de gastos por concepto de consumo de energía eléctrica.

Los estudiantes y profesores serían también beneficiarios dado que el proyecto está enfocado en la mejora de las condiciones de seguridad en el ambiente de estudio/trabajo. Se analizan los factores para poder gestionar una iluminación de calidad tomando en cuenta la seguridad ambiental que la UPS-G brinda a sus usuarios, con el fin de salvaguardar la integridad del personal que labora y asiste a la universidad.

Además, los autores del trabajo de titulación podrán demostrar los conocimientos, competencias y habilidades adquiridas a lo largo de la Carrera y eventualmente podrían obtener su título de grado como ingenieros industriales; A su vez tendrán la oportunidad de generar experticia internacional de enfoque revolucionario de la tecnología Led dentro de un campo energético sustentable. Proporcionando alianzas de conocimiento entre la empresa Energesis y la UPS-G.

1.2.2. Importancia

Este trabajo es importante ya que se pretende reducir el presupuesto anual de la institución, recursos que podrían utilizarse en la ampliación y el mantenimiento de la infraestructura actual, en la mejora de las condiciones de estudio en las aulas y bibliotecas, así como la adopción de nuevos proyectos de investigación o de vinculación con la sociedad para contribuir a la transformación del entorno próximo.

Vivimos en tiempos de constante innovación tecnológica y la industria de iluminación no ha sido la excepción. Se han logrado avances crecientes en las últimas décadas, como son los chips semiconductores llamados Diodos Emisores de Luz o LEDs, los cuales hace muy poco tiempo dieron una completa revolución en el mercado de lámparas. A principios de su comercialización poseían una muy baja potencia y bajos flujos luminosos

(lúmenes), lo que no era muy llamativo para las industrias. No obstante, las mejoras que sufrieron las luces LED permiten hoy en día disponer de un mayor alcance y adaptación visual. [3]

En cuanto a lo práctico se realizará un diagnóstico de la situación actual y se propondrán mejoras al consumo energético por este concepto. Además, se presentará una hoja de ruta donde se indicará a la Institución cuáles son los puntos donde se debe priorizar la colocación de las soluciones basadas en tecnología LED para obtener un mayor impacto/ahorro energético en el corto plazo.

1.2.3 Situación problematizante

La iluminación dentro de las instalaciones de la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil es un recurso insustituible, así mismo es una obligación de la institución educativa brindar un ambiente adecuado y cumplir con estándares de calidad.

En los últimos años, la Universidad ha crecido en infraestructura y esto probablemente ha aumentado el consumo energético. Además, se desconoce si los niveles de iluminación actuales se ajustan a los estándares nacionales e internacionales en el área de iluminación, pues no se han realizado investigaciones previas con este propósito.

1.3. Delimitación

Delimitación geográfica: La auditoría lumínica se realizará al edificio D del Campus Centenario de la Universidad Salesiana Politécnica en su sede de la ciudad de Guayaquil.

Delimitación temporal: Este proyecto será realizado dentro del periodo de Marzo del 2017 hasta Abril del 2018.

Delimitación académica: Se requiere convertir el Campus Centenario de la UPS en un espacio energéticamente sostenible. Los costos para la realización de este proyecto se encuentran dentro del margen accesible, y cada uno de los autores podrán alcanzar. Cada uno de los resultados serán publicados luego de su análisis respectivo, para una eficaz adaptación de la propuesta. El modelo de Campus Energéticamente Sostenible abarca

todos los puntos tratados en cuanto a calidad de iluminación, pero algo importante es el consumo necesario para el ahorro y disminución de la huella de carbono que actualmente es primordial para cuidar y proteger nuestro medio ambiente.

De tal forma, para la realización de este proyecto se utilizarán conocimientos adquiridos en las materias de: contabilidad de costos, matemáticas financieras, producción, energía del medio ambiente, electrónica, que están incluidas dentro de la malla curricular de la carrera de Ingeniería Industrial

1.4. Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Realizar una auditoría lumínica y proponer mejoras al sistema de iluminación del edificio D del Campus Centenario de la Universidad Politécnica Salesiana, Sede Guayaquil (UPS-G).

1.4.2 Objetivo específicos

1. Recopilar datos de iluminancia en interiores y exteriores en el Edificio D de la Universidad politécnica Salesiana Sede Guayaquil.
2. Determinar el posicionamiento y la caracterización de los puntos de luz de acuerdo a cada ambiente analizado.
3. Comparar los valores actuales con la normativa del Ecuador, así como las internacionales.
4. Modelar la iluminación de un aula típica de la UPS-G
5. Estimar el ahorro económico de la sustitución de luminaria tradicional por tecnología LED en la UPS-G.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes investigativos

Revisando varias bibliografías acerca del tema, se han encontrado las siguientes que se detallan a continuación:

Humberto Michinel en su artículo nos revela que el producto principal de una bombilla convencional es el calor y la energía que vemos como luz es menos del 5%. Esto significa que se está despilfarrando mucha energía cuando el objeto de la bombilla no es calentar sino dar luz. Sin embargo, en la tecnología LED es al revés. En este mercado, se trabaja con el tiempo de retorno de la inversión. Para hacernos una idea, en Ourense por la cantidad de población que hay, debe haber unas 20.000 luminarias. [4]

Además, nos muestras que cada una costaría en consumo unos 100 euros al año; es decir, Ourense se debe de gastar dos millones de euros al año en iluminar las calles con la tecnología tradicional y se ahorraría del orden de un millón de euros anuales en ese cambio. Estamos hablando de que en tres años se habría compensado la inversión inicial. En cualquier caso, son cálculos muy aproximados porque lo primero que habría que hacer sería una auditoría lumínica. [4]

Otro de los artículos que se revisó fue el de Pedro Fernández de Córdoba donde realiza un artículo de una entrevista denominado “Crean en Galicia una bombilla que ahorra un 80% de energía” en el que nos indica que el invento surgió por casualidad, del cruce de las necesidades de una empresa con el talento de la Universidad. Los técnicos de Innebo, una ingeniería de Ourense, se encontraron con que los diodos Led que estaban instalando para un alumbrado público se fundían a los pocos meses. Para resolver el problema se pusieron en contacto con investigadores de la Facultad de Ciencias de Ourense. [5]

Este éxito ha animado al grupo de investigación a fabricar las bombillas de nueva generación en Ourense en colaboración con la empresa de ingeniería Innebo. Esta última empezará la producción en dos semanas, aunque en un principio por encargo. La primera

tirada será de mil unidades. Los investigadores tampoco descartan crear una empresa tecnológica, una spin-off, para explotar directamente el invento.

En este caso no solo resolvieron el defecto, sino que de esta relación surgió una nueva generación de bombillas Led que ahorran hasta un 80 % en la factura eléctrica con respecto a las unidades de bajo consumo convencionales que se utilizan en el alumbrado público, que en conjunto suman un gasto de mil millones de euros. Poseen, además, una duración de 55.000 horas, lo que equivale a quince años.

El prototipo fue probado con éxito en las luminarias de la localidad valenciana de Aldaia por una empresa de servicios energéticos que surgió de la Universidad Politécnica de Valencia y con la que colabora el equipo gallego, liderado por el catedrático de Óptica Humberto Michinel.

Todas las expectativas fueron confirmadas: el nuevo modelo, ha sido patentado, disipa el calor de tal forma que limita el sobrecalentamiento y evita que las bombillas se fundan antes de tiempo, un problema se debe tanto a la baja calidad de algunos dispositivos Led actualmente en el mercado como a que el montaje no está bien diseñado. [5]

Según Pedro Fernández de Córdoba, catedrático de Ingeniería Industrial y responsable de la empresa Energesis, la que ha probado el prototipo y que participará en su comercialización. «Hemos encontrado una tecnología muy competitiva, que conjuga una gran fiabilidad y solidez técnica, lo que garantiza que va a durar mucho, con su bajo coste y fácil sustitución», subraya Fernández. [5]

Finalmente se encontró otro artículo del doctor Michinel en el que nos muestra que en cuanto a los resultados en el campo de la iluminación LED, ha sido creada una empresa de base tecnológica para la comercialización de los sistemas desarrollados en nuestro laboratorio. Y muestra un ejemplo de su tecnología de iluminación en el campus en Ourense que lleva aproximadamente un año de funcionamiento sin el menor problema, después de haber sustituido el sistema LED previo. [6]

Michinel indica que, aunque su duración es muy superior a los sistemas convencionales, la tecnología LED no es eterna, pero el diseño de nuestra bombilla hace que la misma sea

totalmente reutilizable cuando la pastilla LED llegue al final de su ciclo (unos trece años en sistemas de alumbrado público). Esto permite una enorme reducción de costes de mantenimiento aparte del gran ahorro en el consumo. [6]

2.2 Marco Teórico Referencial.

2.2.1 Auditoria lumínica

Las auditorías lumínicas aplicadas a las instalaciones de alumbrado tienen como objetivo fundamental la mejora de la eficiencia y el ahorro energético de las mismas; además, son muy relevantes en el diseño de un nuevo sistema de alumbrado.

Constituye un aporte importante a la salud del personal que ocupa instalaciones con deficiencia de luminarias.

2.2.1.1 Ventajas de la auditoria lumínica

La auditoría lumínica del alumbrado nos permite conocer:

- Cada modelo de luminaria instalada
- Tipo de alimentación eléctrica
- Disposición física de los componentes en el interior de la luminaria
- Distancias y alturas de todos los puntos de luz

2.2.2 Alcance de la auditoria lumínica

El alcance de los trabajos a realizar será:

- Toma de datos inicial
- Auditoría energética de cada una de las instalaciones de alumbrado
- Análisis del cumplimiento de normativas
- Elaboración de propuestas de actuación.

2.2.3 Sistema de iluminación

Un sistema de iluminación está formado por:

- Fuentes de luz.
- Equipos Auxiliares: resultan imprescindibles para conseguir la funcionalidad del sistema, e influyen en gran medida en su calidad, consumo energético, economía y durabilidad.
- Luminarias: cumplen funciones energéticas, mecánicas, térmicas y estéticas, al distribuir espacialmente la luz generada por las fuentes de luz. [7]

2.2.3.1 Luminarias

Las luminarias son los equipos de alumbrado que reparten, filtran o transforman la luz emitida por una o varias lámparas. Comprenden todos los dispositivos necesarios para el soporte, la fijación y la protección de lámparas (excluyendo las propias lámparas) y, en caso necesario, los circuitos auxiliares en combinación con los medios de conexión con la red de alimentación [8].

2.2.4 Magnitudes lumínicas

Las magnitudes fundamentales que se consideran para el estudio de la iluminación en los puestos de trabajo se dan en la Tabla 1.

Tabla 1. Magnitudes Lumínicas fundamentales

Magnitud	Unidad	Símbolo
Flujo Luminoso	Lumen	F
Intensidad Luminosa	Candela	I
Nivel de Iluminación	Lux	E
Luminancia	Candela/m ²	L
Contraste		C

Fuente: Revista Energías Renovables, 2015 [8]

2.2.4.1 Flujo luminoso

Basados en que la luz es la radiación visible apreciada a través de ojo humano se puede decir que Flujo Luminoso “Es la cantidad de energía, en forma luminosa, emitida por una fuente” [9].

La relación existente entre el flujo Luminoso dado por la lámpara y la potencia eléctrica utilizada nos permite obtener el rendimiento luminoso (μ) de esa lámpara tal como se muestra en la ecuación 1 [3].

$$\mu = \frac{F}{W} \quad (1)$$

Donde:

F = flujo luminoso

W = potencia

2.2.4.2 Niveles de luminosidad

Los niveles de luminosidad permisibles garantizan una visibilidad adecuada para el desarrollo de las actividades cotidianas en las diferentes áreas del edificio. es muy importante la utilización de iluminación eficiente, mediante luminarias de alto rendimiento, que incorporen equipos de bajo consumo y lámparas de alta eficacia luminosa (lumen/watio), unidas al uso de sistemas de regulación y permitirá tener unos buenos niveles de confort sin sacrificar la eficiencia energética.

Los niveles de luminosidad deben ser basados al origen de todos los proyectos de iluminación para lugares de trabajo en interiores, por lo que se recomienda el cumplimiento no solo cuantitativo, sino cualitativo de dos aspectos de la tarea visual que se resumen brevemente: a) Confort visual. b) Rendimiento de colores

Dentro del confort visual estarán englobados parámetros tales como la relación de luminancias entre tarea y entorno, o el control estricto del deslumbramiento producido por las fuentes de luz, o incluso el modo de evitar deslumbramientos reflejados en las

pantallas de ordenadores. En un aspecto más materialista se describe de modo muy detenido la importancia de la utilización de factores de mantenimiento correctos a emplear en las instalaciones de alumbrado, teniendo en cuenta las pérdidas propias de envejecimiento de los componentes o el ensuciamiento de sus superficies ópticas.

Pero lo que de verdad introduce una novedad notable, por lo que significa de mejora para el usuario de las instalaciones, es el aspecto relativo al rendimiento de colores. Como todo el mundo probablemente conoce existen una serie de fuentes de luz, masivamente empleadas en la iluminación de interiores, por razones exclusivamente crematísticas que no cumplen con unos índices mínimos de reproducción cromática, y lo que esta norma plantea es la prohibición de dichas fuentes de luz en iluminaciones de tareas visuales. [10]

2.2.4.3 Intensidad luminosa

“Cantidad de flujo luminoso emitido por cada uno de los rayos que la fuente emite en una determinada dirección” [11]

La Intensidad Luminosa (Ecuación 2) de una fuente de luz se da mediante la relación existente del flujo luminoso (Lúmenes) comprendido en un ángulo sólido para lo cual deberá coincidir su eje con la dirección estimada y el valor de ese ángulo (estereorradianes) [12].

$$I = \frac{F}{\omega} \quad (2)$$

Donde:

I = Intensidad Luminosa

F = flujo luminoso

ω = Angulo sólido

Además, existe otra manera de poder medir la intensidad (Figura 1) mediante una herramienta llamada goniofotómetro (Figura 2) [12].



Figura 1. Intensidad Luminosa



Figura 2. Goniofotómetro

2.2.5 Nivel de iluminación

Los niveles de iluminación también denominado Iluminancia, determina el flujo luminoso absorbido por el área de trabajo o superficie (Figura 3). Es la relación existente entre el flujo luminoso incidente sobre el área dado en lúmenes y la superficie en m^2 (ecuación 3) [13] y [11].

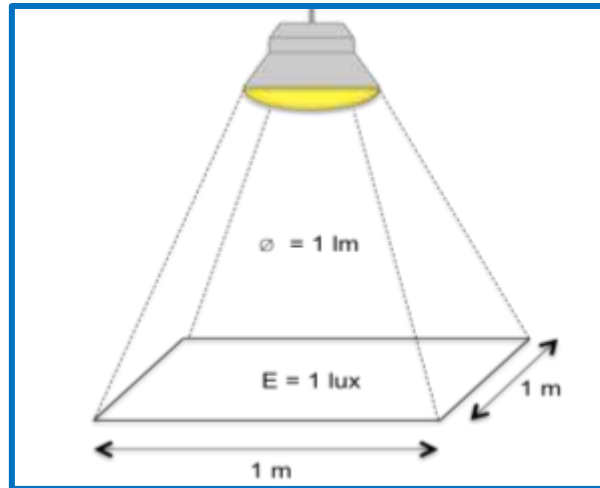


Figura 3. Nivel de iluminación

$$E = \frac{F}{S} \quad (3)$$

Donde:

E = Nivel de iluminación

F = Flujo luminoso

S = Superficie

2.2.5.1 Luminancia

“Relación entre la intensidad luminosa y la superficie aparente vista por el ojo en una dirección determinada.” [3]

También la podemos definir por unidad de la superficie aparente (Figura 4) generada a través de las fuentes primarias y secundarias.

Se puede calcular de la multiplicación de la superficie real iluminada (Figura 4) por el coseno del ángulo que forma su normal con la dirección de la intensidad [14]y [12].

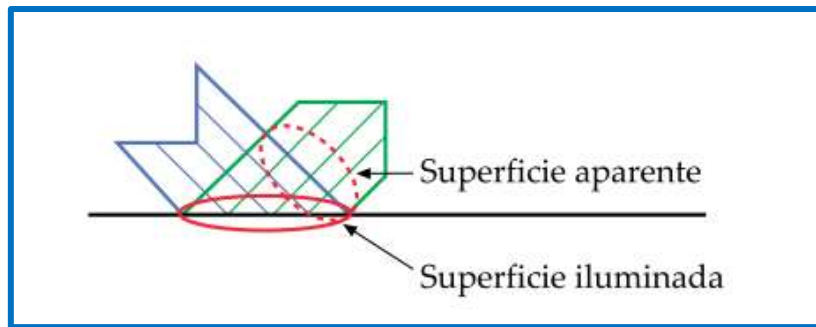


Figura 4. Superficie aparente e iluminada

2.2.5.2 Contraste

Existen dos clases, el que se relaciona con las luminancias (Figura 5) en donde la visión del objeto estará compenetrado con las discrepancias de luminancias entre el objeto y el fondo, en cambio el relacionado con el contraste de color (Figura 6) hace referencia a su composición de colores y que dependiendo de esto será de gran esfuerzo o no, el poder tener una buena visión [13].

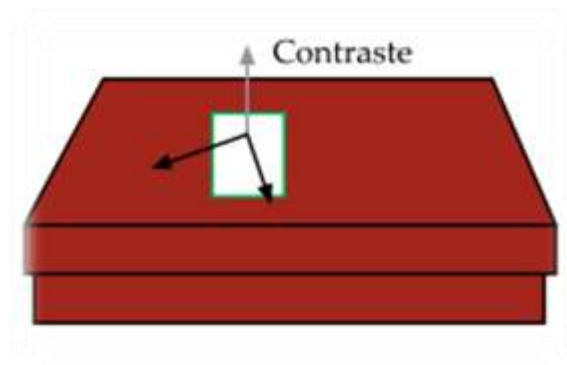


Figura 5. Contraste de luminancias.



Figura 6. Contraste de colores.

2.2.6 Iluminación LED

La nueva tecnología LED presenta varias posibilidades de soluciones de iluminación. Gracias al reducido tamaño de las luces LED, la luz se ha convertido en un fin de sí misma. Una de las características primordiales de las luces LED es su bajo mantenimiento (hasta 50.000 horas de vida útil), presenta también una alta eficacia iluminación y su propiedad de control (en combinación con regulación, control de los brillos y dinamismo del color combinante). Esta tecnología ha revolucionado la cuestión de consumo energético [15].

2.2.6.1 Beneficios de iluminación LED

- Tamaño reducido a pocos milímetros, ajustándose así a una multitud de aplicaciones.
- Alta resistencia contra golpes, tales como: vibraciones e impactos, ofreciendo mayor fiabilidad que las lámparas convencionales es por no haber fallas en los filamentos.
- Larga duración, ya que posee una vida útil entre 30000 y 50000 horas respetando las condiciones recomendadas de funcionamiento.
- Bajo consumo, nos ayuda a ahorrar energía por la poca potencia instalada.
- Posee alta eficiencia en colores: no necesita filtros de colores por su elevada saturación de color. Son fuentes de luz prácticamente monocromáticas que permiten obtener una amplia gama de colores.
- No generan radiación ultravioleta o infrarroja, por lo que no se deterioran los materiales expuestos a la luz LED.
- Su funcionamiento es fiable a bajas temperaturas hasta de 30° C.

2.2.6.2 Tiempo de vida del bombillo LED

En la iluminación de ambientes interiores o exteriores es muy importante identificar los elementos importantes de este sistema como son las bombillas, en la actualidad se utiliza en un gran porcentaje sin tener conocimientos de su eficiencia o riesgos que presentan, como las fluorescentes en donde su funcionabilidad y durabilidad se da mediante gases tóxicos como el mercurio.

La durabilidad de la tecnología LED, es uno de los aspectos positivos que se deben tomar en cuenta al momento de elegir, ya que el tiempo de vida de una bombilla LED oscila entre 30.000 y 50.000 horas aproximadamente, mientras que las lámparas tradicionales carecen de durabilidad como lo podemos apreciar en la Tabla 3, ya sea por el sobrecalentamiento o la calidad del fabricante.

Los diferentes tipos de luminarias LED han asemejado características de sus antecesores, para poder generar la confianza al momento de elegir, mejorando el consumo energético tal como se observa en la Tabla 2 [16].

Tabla 2: Lúmenes producidos por diferentes bombillas a diferentes potencias.

Lúmenes (lm)	Consumo (W)			
Fluorescentes	LED	Incandescentes	Halógenos	
50/80	1,3	10	-	-
110/220	3,5	15	10	5
250/440	5	25	20	7
550/650	9	40	35	9
650/800	11	60	50	11
800/1800	15	75	70	18

1600/1800	18	100	100	20
2500/2600	25	150	150	30
2600/2800	30	200	200	40

Fuente: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, 2015 [16].

Tabla 3: Tiempo de vida (h) de lámparas convencionales.

Bombilla	Tiempo de vida (<i>h</i>)
Mercurio baja presión	10000
Mercurio alta presión	16000
Sodio baja presión	14000
Sodio alta presión	16000

Fuente: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, 2015 [16]

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

La metodología a utilizar en esta investigación fue principalmente de naturaleza cuantitativa con alcance explicativo, pues a través de la recopilación de datos de iluminancia, dimensiones de las áreas, simulación, aplicación de métodos de decisión multicriterio y estimación de costos, se pudo determinar que un alto componente de los gastos por consumo energético en el edificio objeto de estudio se deben al deficiente sistema de iluminación actual basado en tecnología fluorescente.

3.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACION

Este proyecto técnico se estructuró en seis fases, las mismas que se detallan a continuación:

3.2.1 Fases de la investigación

Fase 1: Documentación inicial.

Inicialmente se necesitó los siguientes documentos:

- Salvoconducto institucional, el que nos permitió el ingreso a las dependencias de la UPS-G, dentro de los horarios permitidos.
- Planos digitales del Edificio D, ver figura 9, 10.

Fase 2: Toma de Datos.

Dicha fase consistió en:

- Medir en cada aula y pasillos los niveles de luminosidad.
- Para dicha medición se utilizó un luxómetro como el de la figura 7.
- Se realizó una Tabla de datos en la que fueron anotados los resultados de las mediciones como lo vemos en la Tabla 4.

- Dentro de los datos necesarios para la simulación fue necesario contar con un medidor de distancia, para medir la longitud vertical del suelo al punto de luz, ver figura 8.



Figura 7. Luxómetro modelo LM-100

Tabla 4. Modelo de hoja de toma de mediciones.

Ubicación	Puntos De Luz	Luminarias Por Punto De Luz	Potencia (W)	Tipo de Luminaria	Altura (M)	Cota De Trabajo (M)	Observaciones	Medición (Lux)



Figura 8. Distanciómetro.

Fase 3: Preparación de los Datos.

En esta tercera fase se proyectó el desarrollo de las siguientes actividades:

- Generar una base datos digital con todos los enunciados y todos los planos con mediciones escaneados.
- Señalar en los planos los puntos de luz medidos, con estos puntos de medición al momento de generar la simulación, da como resultado una asimilación más real ya que el estado de las aulas con respecto a la iluminación tanto natural como artificial es diferente según su ubicación, pues existen aulas con ventanas que tienen persianas y aulas que no, por lo cual es necesario apuntar todas las observaciones, además se medirán en aulas, corredores y baños figura 9,10.



Figura 9. Planos Edificio D original.



Figura 10. Planos Edificio D puntos de medición.

Fase 4: Simulación.

En la fase 4 se realizaron las actividades siguientes:

- Mediante los datos obtenidos realizar la simulación de la situación lumínica actual utilizando el software DIALux.
- Determinar si los resultados obtenidos cumplen con los valores establecidos por la normativa vigente en Ecuador (Decreto 2393) y la norma europea UNE de iluminación para interiores.

Fase 5: Análisis.

Factores analizados dentro del consumo energético:

- Consumo energético.
- Ahorro energético.
- Gasto económico

3.3 Simulación de parámetros de iluminación. DIALux.

Para realizar la simulación de la iluminación LED, se utilizó el programa DIALux, el cual nos permitió conocer y visualizar la cantidad de luz emitidas por las luminarias actuales. Cabe recalcar que los datos que se utilizaron fueron los expuestos en las Tablas anteriores, lo que nos presentó el siguiente resultado:

Paso 1. Se abrió el programa, en donde apareció una pantalla principal como se observa en la figura 11, donde se muestran seis opciones de las que se eligió “Nuevo proyecto interior”.

Paso 2. Luego de la selección, apareció el plano de trabajo en perspectiva “Planta” donde presenta las coordenadas de superficie para el ingreso de los datos: largo, ancho y altura. Figura 12.



Figura 11. Ingreso a DIALux.

Fuente: DIALux 4.12

Editor de locales

Dimensiones del paralelepípedo externo

Longitud: 8.280 m Anchura: 6.860 m

Altura: 3.320 m

☒ Coord. de superficie
☐ Coord. mundiales

	x	y	l
1	0.000	-0.000	8.280
2	8.280	0.000	6.860
3	8.280	6.860	8.280
4	0.000	6.860	6.860

Insertar coordenadas Eliminar coordenadas

Aceptar Cancelar

Figura 12. Editor de dimensiones

Fuente: DIALux 4.12

Paso 3. Se colocó el valor de la cota de trabajo que en el programa se denomina “Plano útil”. Luego de haber aceptado los datos de las dimensiones de la figura 11, en la parte inferior izquierda apareció una ventana semejante a la figura 12 y dentro de esta se abre la pestaña “Local 1” y se pudo observar la opción de plano útil plasmada en la figura 13.

Paso 4. Ingresando en la opción se pudo colocar el valor de la altura del plano útil como se observa en la figura 14.

Paso 5. Se eligió el tipo de luminaria que se encuentran instaladas en cada una de las aulas del edificio D de acuerdo con las características obtenidas en el levantamiento de información y toma de datos. Luego se dirigió a la pestaña “Selección de luminarias” que se encuentra en la parte superior de la ventana como se muestra en la figura 15, dentro de la misma se seleccionó la opción “Catálogos DIALux” en donde se presentan toda la gama de marcas y cada una de ella con sus respectivos modelos como la figura 16 , 17 y 18 se elegirá cada luminaria de acuerdo a la Tabla 5 que presenta la característica de las áreas.

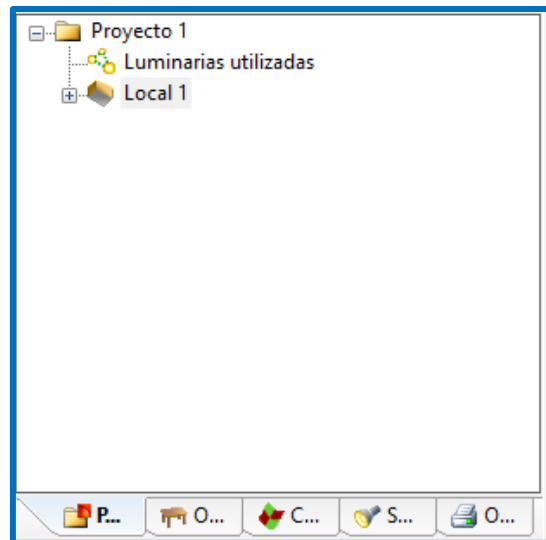


Figura 13. Ventana creación Proyecto

Fuente: DIALux 4.12

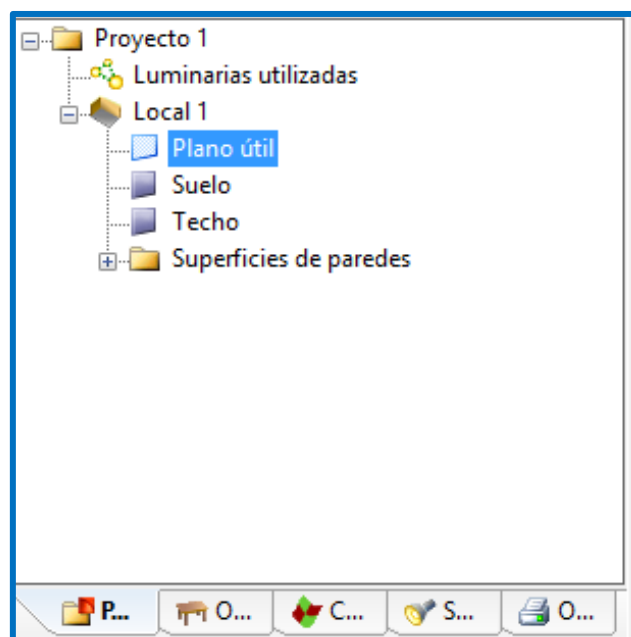


Figura 14. Identificación de Plano útil

Fuente: DIALux 4.12

A screenshot of a software dialog box with a tab labeled "Nombre". Inside the dialog, there are three input fields: "Nombre:" with the text "Plano útil", "Altura:" with the value "0.770" and a unit "m", and "Zona marginal:" with the value "0.000" and a unit "m".

Figura 15. Ingreso valor de plano útil

Fuente: DIALux 4.12

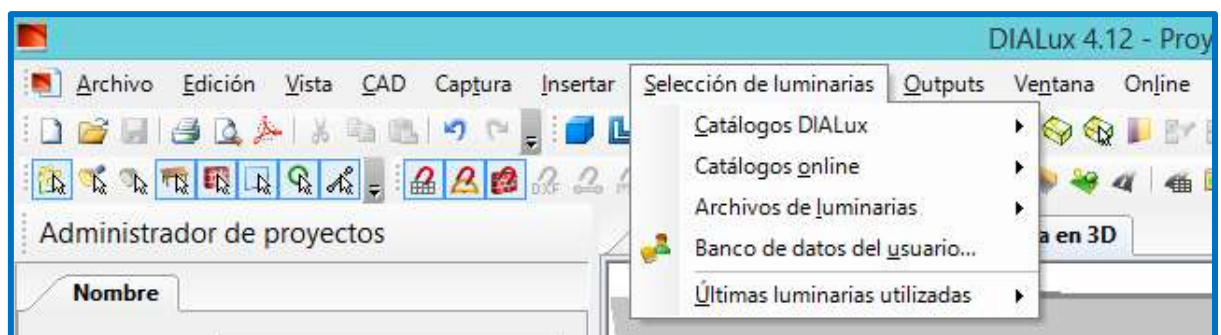


Figura 16. Pestaña “Selección de luminarias”

Fuente: DIALux 4.12

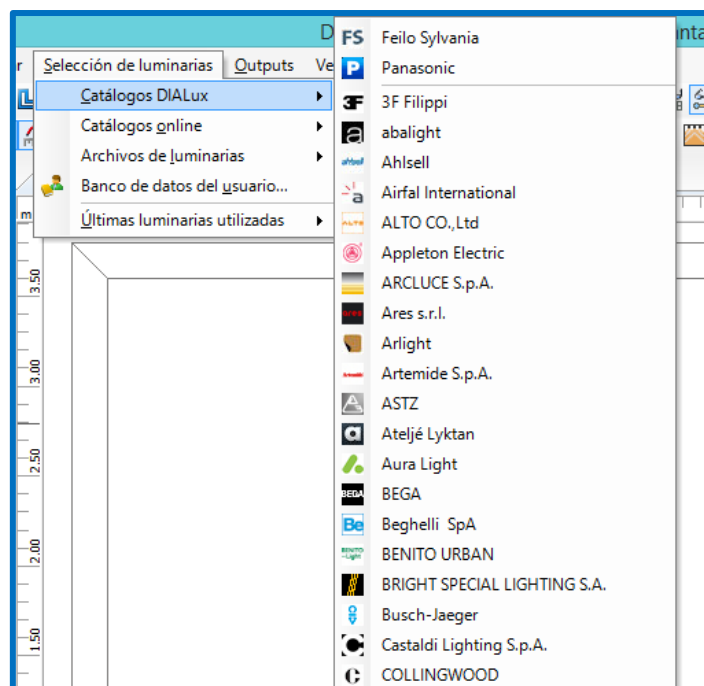


Figura 17. Catálogo de luminarias

Fuente: DIALux 4.12



Figura 18. Modelos de luminaria

Fuente: DIALux 4.12

Tabla 5. Caracterización de luminarias

UBICACIÓN	MARCA	MODELO

Fuente: Autores

Paso 6. Luego se presentó en el plano la representación gráfica y se aplicó de acuerdo a la distribución actual de las luminarias en cada aula.

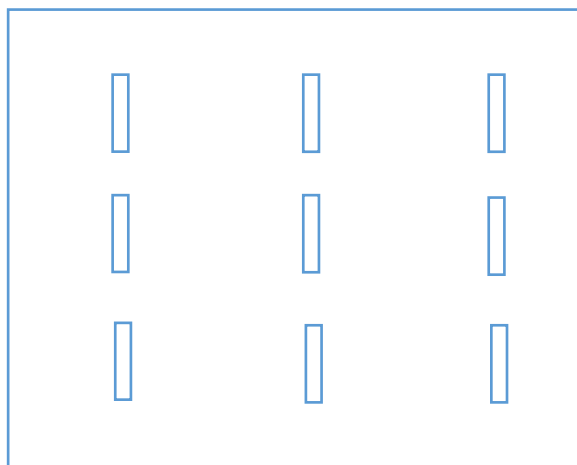


Figura 19. Distribución de luminarias

Fuente: DIALux 4.12

Para obtener una mejor simulación, es recomendable colocar los objetos existentes dentro del aula. Para la representación de estos se escogió la pestaña “objetos” ubicada en la parte inferior izquierda de la ventana mostrada en la figura 20.

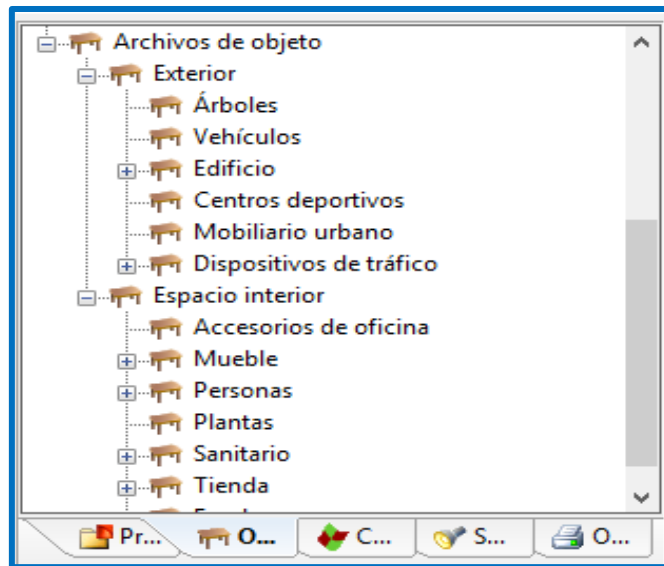


Figura 20. Pestaña de selección de objetos

Fuente: DIALux 4.12

Aquí se pueden encontrar objetos de espacios interiores como de exteriores. Y a la vez fueron ubicados de acuerdo con coordenadas al punto de origen, las dimensiones de largo ancho y altura detallas en la figura 21, adicional a esto se puede añadir la textura o color del objeto para efectos estéticos.

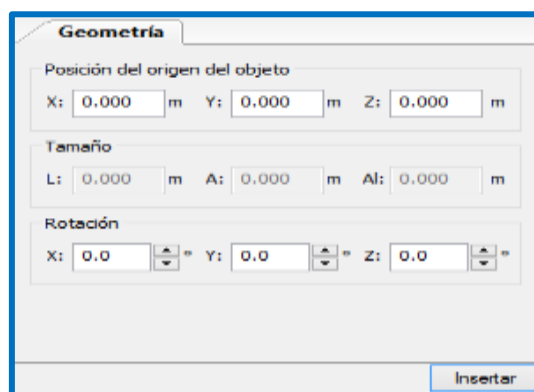


Figura 21. Descripción geométrica del objeto

Fuente: DIALux 4.12

Una vez seleccionados los datos necesarios e importantes a considerar, se da clic en insertar para tener el objeto dentro del plano como se muestra en la figura 22.



Figura 22. Diseño de objetos de interior

Fuente: DIALux 4.12

Paso 7. El programa DIALux nos facilita un asistente con la finalidad de presentar mejoras para la simulación, el mismo que se obtiene ubicándose en insertar, aparece una ventana con varias opciones de las cuales se selecció “Disposición de las luminarias”, el cual nos presenta otra ventana con la opción “Asistente para luminarias” el cual arroja una última ventana, con dos opciones más la cual se eligió según nuestra conveniencia. Figura 23.

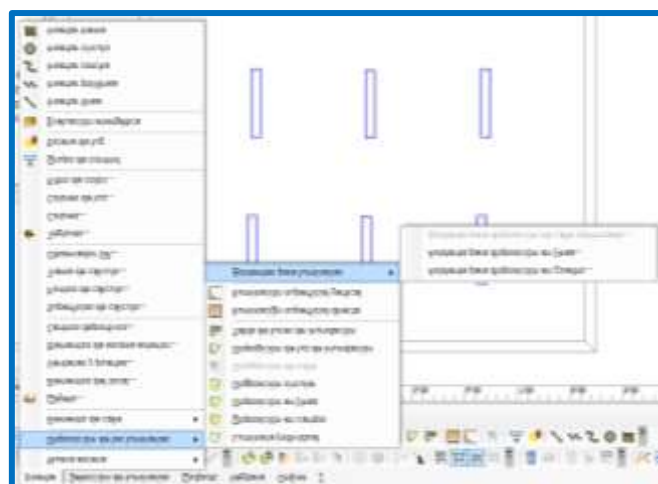


Figura 23. Asistente para luminarias

Fuente: DIALux 4.12

Aquí podemos crear restricciones como los luxes necesarios que se requiere disponer en la cota de trabajo, tipo de montaje, flujo luminoso, potencia, etc.

Paso 8. El iniciar el cálculo es una de las partes finales e importantes porque mediante esta opción se pudo observar los resultados lumínicos a través de gráficos 3D, representación de colores, isolíneas y hacer las respectivas comparaciones con el proyecto, determinar su cumplimiento en base a marco legal aplicado.

Para realizar el cálculo nos dirigimos a la pestaña superior denominada “Outputs” y que dentro de esta se encuentra la opción de Iniciar Calculo (Figura 24).

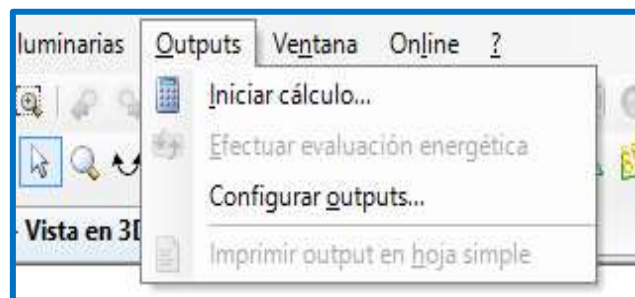


Figura 24. Iniciar Cálculo

Fuente: DIALux 4.12

En la figura 25 se pudo observar las opciones que presenta como: la escena que vamos a calcular, así como 2 opciones: cálculo estándar o cálculo muy exacto teniendo como diferencia el grado de exactitud y su tiempo de demora.

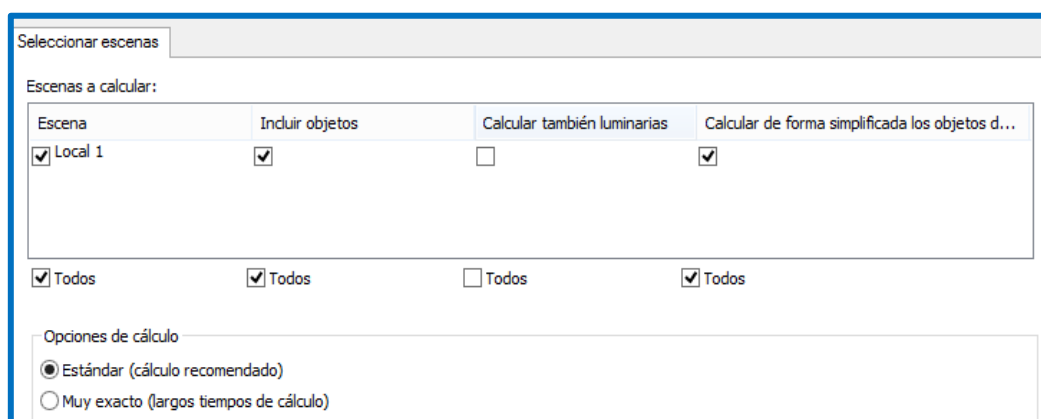


Figura 25. Selección de escenas y opciones de cálculo

Fuente: DIALux 4.12

3.4 Especificaciones técnicas del marco legal

3.4.1 Normativa ecuatoriana

En el Ecuador los niveles de iluminación para interiores y exteriores están regulados en el decreto ejecutivo 2393 Reglamento de Seguridad laboral el cual menciona lo siguiente:

Art. 81 Para prevenir los efectos dañinos de la iluminación deficiente, se estará a lo dispuesto en el Título II, Capítulo V, Art. 56 del Decreto Ejecutivo 2393 “ILUMINACIÓN, NIVELES MÍNIMOS.”. Por tanto, se tomará las siguientes medidas:

Art. 82 La calidad e intensidad de la iluminación en las zonas de trabajo y áreas adyacentes deben ser adecuadas, a fin de garantizar que las labores se ejecuten cómodamente y con seguridad. Para oficinas se tendrá como mínimo 300 lux y en bodegas 200 lux.

Tabla 6: Niveles de iluminación mínima para trabajos específicos y similares.

ILUMINACIÓN MÍNIMA	ACTIVIDADES
20 luxes	Pasillos, patios y lugares de paso.
50 luxes	Operaciones en las que la distinción no sea esencial como manejo de materias, desechos de mercancías, embalaje, servicios higiénicos.
100 luxes	Cuando sea necesaria una ligera distinción de detalles como: fabricación de productos de hierro y acero, taller de textiles y de industria manufacturera, salas de máquinas y calderos, ascensores.
200 luxes	Si es esencial una distinción moderada de detalles, tales como: talleres de metal mecánica, costura, industria de conserva, imprentas.

300 luxes	Siempre que sea esencial la distinción media de detalles, tales como: trabajos de montaje, pintura a pistola, tipografía, contabilidad, taquigrafía.
500 luxes	Trabajos en que sea indispensable una fina distinción de detalles, bajo condiciones de contraste, tales como: corrección de pruebas, fresado y torneado, dibujo.
1000 luxes	Trabajos en que exijan una distinción extremadamente fina o bajo condiciones de contraste difíciles, tales como: trabajos con colores o artísticos, inspección delicada, montajes de precisión electrónicos, relojería

Fuente: Decreto ejecutivo 2393 [17]

De lo anterior puede deducirse que en el caso específico de una Institución de Educación Superior los niveles de iluminación establecidos para las distintas áreas son: para aula de enseñanza 300 lux, para baños 50 lux, para laboratorios 300 lux y para pasillos 20 lux.

Las instalaciones de iluminación de las distintas dependencias que estructuran una institución educativa deben contener sistemas que proporcionen un entorno visual confortable y suficiente, según las muy variadas tareas y actividades que se desarrollan durante todo el periodo de enseñanza. Aplicando criterios de calidad adecuados al diseño, instalación y mantenimiento de todos aquellos elementos que intervienen en la obtención de una buena iluminación, obtendremos los resultados de confort visual requeridos, todo esto garantizando la máxima eficiencia energética, por tanto, los mínimos costes de explotación.

Una buena iluminación proporciona a los estudiantes y profesores, un ambiente agradable y estimulante, es decir, un confort visual que les permite seguir su actividad sin demandar de ellos un sobre esfuerzo visual, reduciendo el cansancio y los dolores de cabeza producidos por una iluminación inadecuada.

3.4.2 Normativa internacional

Entre los estándares más importantes a nivel internacional en el área de iluminación se encuentra la Norma europea sobre la iluminación para interiores (UNE 12464.1). De acuerdo con esta, los niveles de iluminación exigidos para interiores pueden observarse en la Tabla 7.

Tabla 7. Parámetros de iluminación (Norma internacional)

TIPO DE DEPENDENCIA O ACTIVIDAD	ILUMINACIÓN MEDIA HORIZONTAL (LUX)	CLASE DE CALIDAD AL DESLUBRIMIENTO DIRECTO	GRUPO DE RENDIMIENTO DE COLOR
Aula de enseñanza:			
General, trabajos manuales, etc.	300	B	1B
General	300	B	1B
Pizarra (plano vertical)	300		
Aula de informática:			
General	500	A	1B
Pizarra (plano vertical)	300		
Aula de dibujo:			
General	750	A	1 A
Pizarra (plano vertical)	300		
Aula laboratorio:			
General	500	B	1B
Pizarra (plano vertical)	300		
Aula taller:			
Trabajo basto	300	D	2 A
Trabajo fino	500	B	2 A
Biblioteca:			
Ambiental	200	B	1B
Zona de lectura	500	B	1B
Salón de actos			
General	200	C	1B
Escenario	700	-	1B

Gimnasio/polideportivo	300	B	1B
Sala de profesores	300	B	1B
Oficinas administrativas	500	B	1B
Vestíbulos/pasillos	150	C	2C
Comedor	200	C	1B
Cocina:			
General	150	C	1B
Zona de trabajo	300	C	2 ^a
Vestidores/pasillos	150	C	2 A
Almacenes	100	E	2 A
Botiquín	500	B	1 A
Patios exteriores:			
General	50	-	2B
Deportes:			
Futbol, rogy, balonmano	100	-	
Baloncesto, balonvolea, bádminton	200	-	2B
Zonas exteriores			
Vigilancia	25	-	

Fuente: UNE 12464.1 [8]

Como puede observarse de la tabla anterior, esta norma es un poco más específica que la ecuatoriana. En este caso, para las aulas de enseñanzas se requiere de 300 lux, para pasillos 150 lux, para aulas de laboratorio 500 lux.

3.5 Costo Anual Uniforme Equivalente

El CAUE (costo anual uniforme equivalente) es el indicador que se utiliza en la evaluación de proyectos de inversión y corresponde a todos los ingresos y desembolsos convertidos en una cantidad anual uniforme equivalente que es la misma cada período. Si el CAUE es positivo, es porque los ingresos son mayores que los egresos y, por lo tanto, el proyecto puede realizarse; pero, si el CAUE es negativo, es porque los ingresos son menores que los egresos y en consecuencia el proyecto debe ser rechazado. [18]

El CAUE es el costo anual equivalente uniforme para todo el horizonte temporal de la inversión ($j=1\dots n$) y consiste en convertir todos los egresos en una serie uniforme de pagos. Su valor depende del costo de capital (i) y el valor presente (VP) de los montos de efectivo que egresan desde el año 0 hasta el año n . Se formula como en la ecuación (4).

$$CAUE = \sum_{j=1}^n VP_j \left[\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right] \quad (4)$$

Donde el Valor presente (VP) de una cantidad sencilla futura (VF) se calcula como sigue:

$$VP = VF \left[\frac{1}{(1+i)^n} \right] \quad (5)$$

En el caso particular de que existan egresos constantes en el tiempo (anualidades, A), el cálculo del valor presente Valor presente (VP) se determina como en la ecuación (6):

$$VP = A \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right] \quad (6)$$

Esta herramienta permitirá la validación económica de la estrategia de mejora que se presentará en este proyecto de titulación.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

La recolección de datos de este proyecto investigativo fue basada en el método descriptivo y de campo. Mediante la recopilación y el análisis de datos se llegó a un diagnóstico sobre las características del sistema de iluminación actual, que permitió encontrar oportunidades de mejora para contribuir a la reducción del gasto en consumo de energía en las instalaciones objeto de estudio.

4.1 Recolección de datos de iluminancia

En la recolección de los datos de iluminancia de las instalaciones del Edificio D, se tomaron en cuenta las dimensiones de las instalaciones, características de las luminarias instaladas y algo muy importante que son las mediciones de iluminancia que para mayor confiabilidad de los datos se realizaron en jornadas nocturnas debido a que en jornadas diurnas se tiene la intervención de la luz natural. Para la medición de la iluminancia se utilizaron dos luxómetros marca AMPROBE modelo LM100, con precisión de $\pm 5\%$ + 5 dígitos, propiedad de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil.

Para la presentación de los datos de iluminancia medidos fue utilizado el formato de la sección 3.2 de este trabajo teniendo en consideración un código alfanumérico con las siguientes especificaciones:

D01-AULA-1

D: Identificación del edificio

01: Número de piso o nivel del edificio

AULA: Se refiere al tipo de instalación

1: Se refiere al número de identificación del local, en este ejemplo, se refiere al aula 1

Es importante acotar que en donde se realicen la toma de datos con el luxómetro no es aconsejable realizar la misma precisamente debajo del punto de luz debido a que en ese

punto se concentrada la mayor cantidad de luxes, teniendo como resultado datos no confiables. Por estas razones las mediciones se realizaron entre puntos de luz.

A continuación, se presentan las Tablas 8 y 9 con los datos de iluminancia (expresados en luxes) medidos en cada una de las aulas y pasillos de cada planta o nivel del Edificio D. En el caso de las aulas, la iluminancia fue medida en cuatro puntos y se sacó un promedio de estos que fueron expresados en las siguientes Tablas. En cuanto a la identificación y clasificación de la luminaria fue llevada a cabo en las siguientes áreas: aulas, pasillos, baños, laboratorios, salas docentes, exteriores del edificio, auditorios y capilla como se muestran en las Tablas a continuación:

Tabla 8. Datos de iluminancia del primer y segundo piso del Edificio D

Primer Piso		Segundo Piso	
Código	Iluminancia (lux)	Código	Iluminancia (lux)
D01CAPILLA	178	D02AULA-200	77
D01AULA-C100	201	D02AULA-201	112
D01AULA-C102	275	D02AULA-202	158
D01AULA-C103	244	D02AULA-203	87
D01AULA-C104	265	D02AULA-204	150
D01AULA-C105	245	D02AULA-205	91
D01AULA100	116	D02AULA-206	110
D01AULA102	134	D02AULA-207	78
D01AULA104	115	D02AULA-208	122
D01AULA105	115	D02AULA-209	124
D01AULA106	131	D02AULA-211	100
D01AULA107	135	D02AULA-212	118
D01AULA108	122	D02AULA-213	97
D01AULA109	133	D02AULA-214	109
D01AULA111	158	D02AULA-215	152

D01AULA112	86	D02SALONROJO	212
D01AULA113	123	D02SALONAZUL	126
D01AULA114	186	D02PASILLO	48
D01TEATRO-ESCE	318	D02BAÑOHOOMB1	29
D01TEATRO-GEN	84	D02BAÑOHOOMB2	32
D01SALDOCEN1C	146	D02BAÑOMUJER1	19
D01SALADOCEN2	109	D02BAÑOMUJER2	20
D01SALADOCEN3	50		
D01DPTOMEDICO	225		
D01BODEGA	140		
D01EXTERIOR	64		
D01MALECON	75		
D01BAR	260		
D01CENDECOPIA	145		
D01BAÑOHOOMB1	44		
D01BAÑOHOOMB2	42		
D01BAÑOHOOMB3	32		
D01BAÑOMUJER1	38		
D01BAÑOMUJER2	34		
D01BAÑOMUJER3	31		
D01PASILLO	40		

Tabla 9. Datos de iluminancia del tercer y cuarto piso tomados del Edificio D

Tercer Piso		Cuarto Piso	
Código	Iluminancia (lux)	Código	Iluminancia (lux)
D03AULA-301	84	D04LABCOMPU3	145
D03AULA-302	115	D04LABCOMPU4	145

D03AULA-303	106	D04LABCOMPU5	135
D03AULA-304	86	D04LABCOMPU6	114
D03AULA-305	89	D04LABCOMPU7	131
D03AULA-306	86	D04LABCOMPU8	123
D03AULA-307	90	D04LABCOMPU10	93
D03AULA-308	98	D04DIRADMEMP	126
D03AULA-309	91	D04DIRINGIND	46
D03AULA-311	122	D04FEUPS-G	126
D03AULA-312	116	D01SALADOCEN7	141
D03AULA-313	121	D04INSTIIDIOMAS	132
D03AULA-314	99	D04LABIDIOMAS	226
D03AULA-315	116	D04AULAD-412	140
D03PASILLO	77	D04AULAD-413	145
D03BAÑOHOOMB1	36	D04AULAD-414	143
D03BAÑOHOOMB2	48	D04AULAD415-416	168
D03BAÑOMUJER1	36	D04PASILLO	49
D03BAÑOMUJER2	46	D04BAÑOHOOMB1	40
		D04BAÑOHOOMB2	31
		D04BAÑOMUJER1	45
		D04BAÑOMUJER2	29

4.2 Caracterización de puntos de luz

Las aulas del Edificio D contienen diferentes tipos de puntos de luz, por lo que se consideró indispensable realizar una caracterización de cada uno de estos, para el ingreso correcto de los datos en el programa de simulación DIALux.

A continuación, la Tablas 10, 11, 12 y 13 muestran los resultados de las luminarias por punto de luz, potencia y tipo de luminaria, altura del aula y la altura de la superficie de trabajo, para la primera, segunda, tercera y cuarta planta del bloque D, respectivamente.

La altura de las instalaciones, así como de la superficie de trabajo fueron medidas con un distanciómetro laser marca Capital, modelo CP-3007, con precisión de $\pm 0,5\%$ y resolución de 0,01m.

Tabla 10. Caracterización de los puntos de luz del primer piso.

UBICACIÓN	PUNTOS DE LUZ	LUMINARIAS POR PUNTO DE LUZ	POTENCIA (W)	TIPO DE LUMINARIA	ALTURA (m)	COTA DE TRABAJO (m)
D01CAPILLA	38	1	18	Led	2.65	0.45
D01AULA-C100	6	3	18	Fluorescente	2.65	0.76
D01AULA-C102	6	3	17	Fluorescente	2.65	0.76
D01AULA-C103	6	3	17	Fluorescente	2.65	0.76
D01AULA-C104	6	3	17	Fluorescente	2.65	0.76
D01AULA-C105	6	3	17	Fluorescente	2.65	0.76
D01AULA100	9	3	18	Fluorescente	2.65	0.76
D01AULA102	9	3	18	Fluorescente	2.65	0.76
D01AULA104	9	3	18	Fluorescente	2.65	0.76
D01AULA105	9	3	18	Fluorescente	2.65	0.76
D01AULA106	9	3	18	Fluorescente	2.65	0.76
D01AULA107	9	3	18	Fluorescente	2.65	0.76
D01AULA108	9	3	18	Fluorescente	2.65	0.76
D01AULA109	9	3	18	Fluorescente	2.65	0.76
D01AULA111	6	3	18	Fluorescente	2.65	0.76
D01AULA112	13	1	18	Led	2.65	0.76
D01AULA113	6	3	17	Fluorescente	2.76	0.76
D01AULA114	6	3	17	Fluorescente	2.76	0.76
D01TEATROESCE	8	3	17	Fluorescente	2.76	0.76
D01TEATRO-GEN	49	1	18	Led	5.8	0.45
D01SALDOCEN1C	6	3	18	Fluorescente	2.76	0.76
D01SALADOCEN2	6	3	17	Fluorescente	2.76	0.76
D01SALADOCEN3	32	3	17	Fluorescente	2.76	0.76
D01DPTOMEDICO	4	3	18	Fluorescente	2.76	0.76
D01BODEGA	1	3	18	Fluorescente	2.76	0.76
D01EXTERIOR	44	1	20	Fluorescente	2.8	0
D01MALECON	38	2	20	Fluorescente	2.8	0

D01BAR	6	2	32	Fluorescente	2.76	0.76
D01CENDECOPIA	6	3	17	Fluorescente	2.76	0.76
D01BAÑOHOOMB1	5	2	20	Fluorescente	2.76	0
D01BAÑOHOOMB2	7	2	20	Fluorescente	2.76	0
D01BAÑOHOOMB3	6	2	20	Fluorescente	2.76	0
D01BAÑOMUJER1	6	2	20	Fluorescente	2.76	0
D01BAÑOMUJER2	6	2	20	Fluorescente	2.76	0
D01BAÑOMUJER3	6	2	20	Fluorescente	2.76	0
D01PASILLO	33	3	17	Fluorescente	2.76	0

Tabla 11. Caracterización de los puntos de luz del segundo piso.

UBICACIÓN	PUNTOS DE LUZ	LUMINARIAS POR PUNTO DE LUZ	POTENCIA (W)	TIPO DE LUMINARIA	ALTURA (m)	COTA DE TRABAJO (m)
D02AULA-200	9	3	17	Fluorescente	2.76	0.76
D02AULA-201	9	3	17	Fluorescente	2.76	0.76
D02AULA-202	9	3	17	Fluorescente	2.76	0.76
D02AULA-203	9	3	17	Fluorescente	2.76	0.76
D02AULA-204	9	3	17	Fluorescente	2.76	0.76
D02AULA-205	9	3	17	Fluorescente	2.76	0.76
D02AULA-206	9	3	17	Fluorescente	2.76	0.76
D02AULA-207	9	3	17	Fluorescente	2.76	0.76
D02AULA-208	9	3	17	Fluorescente	2.76	0.76
D02AULA-209	9	3	17	Fluorescente	2.76	0.76
D02AULA-211	6	3	17	Fluorescente	2.76	0.76
D02AULA-212	6	3	17	Fluorescente	2.76	0.76
D02AULA-213	6	3	17	Fluorescente	2.76	0.76
D02AULA-214	6	3	17	Fluorescente	2.76	0.76
D02AULA-215	12	3	17	Fluorescente	2.76	0.76
D02SALONROJO	34	1	18	Led	2.6	0.73
D02SALONAZUL	39	1	18	Led	2.6	0.73
D02PASILLO	30	3	17	Fluorescente	2.76	0

D02BAÑO HOMB1	5	2	20	Fluorescente	2.76	0
D02BAÑO HOMB2	6	2	20	Fluorescente	2.76	0
D02BAÑO MUJER1	5	2	20	Fluorescente	2.76	0
D02BAÑO MUJER2	6	2	20	Fluorescente	2.76	0

Tabla 12. Caracterización de los puntos de luz del tercer piso.

UBICACIÓN	PUNTOS DE LUZ	LUMINARIAS POR PUNTO DE LUZ	POTENCIA (W)	TIPO DE LUMINARIA	ALTURA (m)	COTA DE TRABAJO (m)
D03AULA-301	9	3	17	Fluorescente	2.76	0.76
D03AULA-302	9	3	17	Fluorescente	2.76	0.76
D03AULA-303	9	3	17	Fluorescente	2.76	0.76
D03AULA-304	9	3	17	Fluorescente	2.76	0.76
D03AULA-305	9	3	17	Fluorescente	2.76	0.76
D03AULA-306	9	3	17	Fluorescente	2.76	0.76
D03AULA-307	9	3	17	Fluorescente	2.76	0.76
D03AULA-308	9	3	17	Fluorescente	2.76	0.76
D03AULA-309	9	3	17	Fluorescente	2.76	0.76
D03AULA-311	6	3	17	Fluorescente	2.76	0.76
D03AULA-312	6	3	17	Fluorescente	2.76	0.76
D03AULA-313	6	3	17	Fluorescente	2.76	0.76
D03AULA-314	6	3	17	Fluorescente	2.76	0.76
D03AULA-315	12	3	17	Fluorescente	2.76	0.76
D03PASILLO	31	3	17	Fluorescente	2.76	0.76
D03BAÑO HOMB1	5	2	20	Fluorescente	2.76	0
D03BAÑO HOMB2	7	2	20	Fluorescente	2.76	0
D03BAÑO MUJER1	5	2	20	Fluorescente	2.76	0
D03BAÑO MUJER2	6	2	20	Fluorescente	2.76	0

Tabla 13. Caracterización de los puntos de luz del cuarto piso.

UBICACIÓN	PUNTOS DE LUZ	LUMINARIAS POR PUNTO DE LUZ	POTENCIA (W)	TIPO DE LUMINARIA	ALTURA (m)	COTA DE TRABAJO (m)
D04LABCOMPU3	9	3	9	Fluorescente	2.76	0.76
D04LABCOMPU4	12	3	17	Fluorescente	2.76	0.76
D04LABCOMPU5	9	3	17	Fluorescente	2.76	0.76
D04LABCOMPU6	9	3	17	Fluorescente	2.76	0.76
D04LABCOMPU7	9	3	17	Fluorescente	2.76	0.76
D04LABCOMPU8	9	3	17	Fluorescente	2.76	0.76
D04LABCOMPU10	9	3	17	Fluorescente	2.76	0.76
D04DIRADMEMP	9	3	17	Fluorescente	2.76	0.76
D04DIRINGIND	8	2	17	Fluorescente	2.76	0.76
D04FEUPS-G	3	3	17	Fluorescente	2.76	0.76
D01SALADOCEN7	9	3	17	Fluorescente	2.76	0.76
D04INSTIIDIOMAS	6	3	17	Fluorescente	2.76	0.76
D04LABIDIOMAS	9	3	9	Fluorescente	2.76	0.76
D04AULAD-412	6	3	17	Fluorescente	2.76	0.76
D04AULAD-413	6	3	17	Fluorescente	2.76	0.76
D04AULAD-414	6	3	17	Fluorescente	2.76	0.76
D04AULAD415-416	12	3	17	Fluorescente	2.76	0.76
D04PASILLO	29	3	17	Fluorescente	2.76	0.76
D04BAÑOHOMB1	4	2	20	Fluorescente	2.76	0
D04BAÑOHOMB2	7	2	20	Fluorescente	2.76	0
D04BAÑOMUJER1	4	2	20	Fluorescente	2.76	0
D04BAÑOMUJER2	8	2	20	Fluorescente	2.76	0

4.3 Modelado y simulación de un aula típica del Edificio D

El modelado y simulación de un aula típica del Edificio D se realizó en el software DIALux versión 4.12. Mediante la recolección de datos que se obtuvo en el punto 4.2 se tomó en cuenta las Tablas de luminarias instaladas, datos dimensionales para ingresar en todos los parámetros que DIALux solicita como datos de entrada y que se detallan paso a paso en el punto 3.2 del capítulo 3.

En el modelado se tomó en cuenta los objetos que existen en el aula típica, considerar estos elementos en la simulación es importante para la comparación posterior de la situación ideal con la situación actual.

Una vez ingresados los datos al programa DIALux y después de ajustar los parámetros del software se generó la figura en vista isométrica que se muestra en la figura 26. En esta figura podemos visualizar la cantidad de luxes existentes en un aula y en el puesto de trabajo, que en este caso son el escritorio y las mesas que utilizan los alumnos al momento de estar en clases.

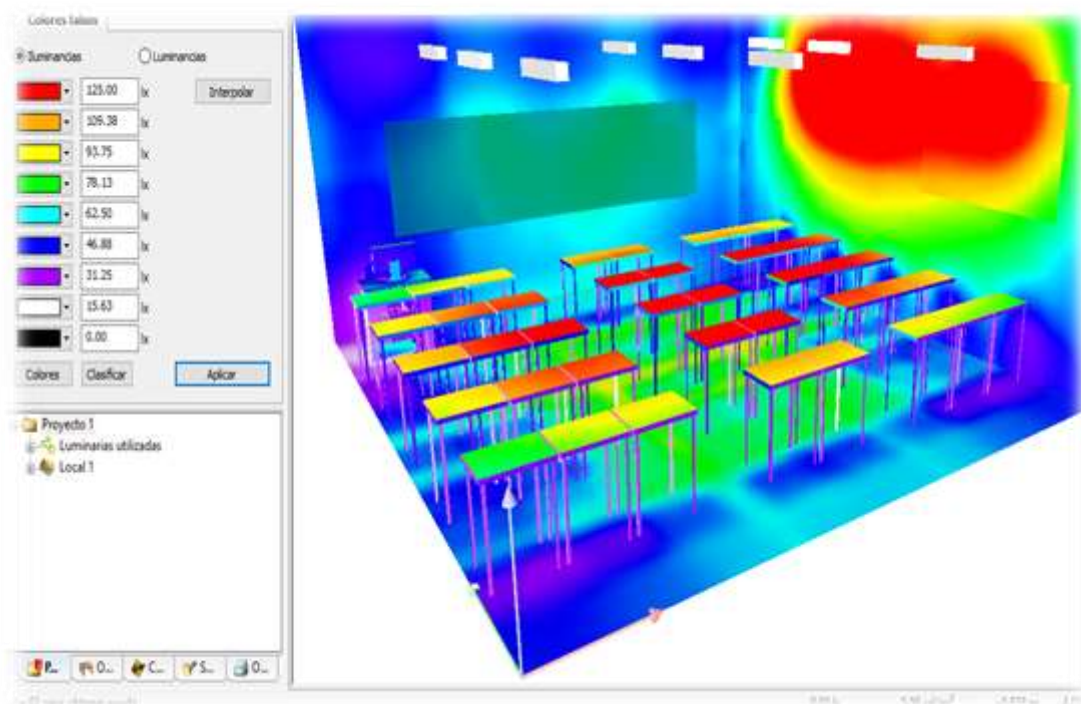


Figura 26. Representación de valores de iluminancia simulados.

Fuente: DIALux 4.12

Como puede observarse, en este caso, el aula simulada no cumple con la normativa 2393 que rige en el Ecuador ni con la normativa europea UNE 12464.1, las mismas que exigen 300 lx para un aula de clases.

4.4 Cumplimiento de estándares nacionales e internacionales

En las Tablas 14, 15, 16 y 17 observamos las cantidades de luxes existentes en las aulas, laboratorios, aulas docentes, dirección de carreas, pasillos, etc. Tales datos de iluminancia

fueron comparados con los requerimientos establecidos en el Decreto 2393 y la norma europea UNE 12464.1 para verificar si cumplen o si hay oportunidades de mejora.

Tabla 14. Estado de cumplimiento de los niveles de iluminación establecidos en el Decreto 2393 en el Primer piso.

Tipo de ambiente	Iluminancia exigida en la normativa	Iluminancia actual	Cumple	No cumple	Necesidades por cubrir
D01CAPILLA	300	178		*	122
D01AULA-C100	300	201		*	99
D01AULA-C102	300	275		*	25
D01AULA-C103	300	244		*	56
D01AULA-C104	300	265		*	35
D01AULA-C105	300	245		*	55
D01AULA100	300	116		*	184
D01AULA102	300	134		*	166
D01AULA104	300	115		*	185
D01AULA105	300	115		*	185
D01AULA106	300	131		*	169
D01AULA107	300	135		*	165
D01AULA108	300	122		*	178
D01AULA109	300	133		*	167
D01AULA111	300	158		*	142
D01AULA112	300	86		*	214
D01AULA113	300	123		*	177
D01AULA114	300	186		*	114
D01TEATRO-ESCE	300	318	*		-18
D01TEATRO-GEN	100	84		*	16
D01SALDOCEN1C	300	146		*	154
D01SALADOCEN2	300	109		*	191
D01SALADOCEN3	300	50		*	250

D01DPTOMEDICO	300	225		*	75
D01BODEGA	200	140		*	60
D01EXTERIOR	75	64		*	11
D01MALECON	75	75	*		0
D01BAR	200	260	*		-60
D01CENDECOPIA	200	145		*	55
D01BAÑO HOMB1	50	44		*	6
D01BAÑO HOMB2	50	42		*	8
D01BAÑO HOMB3	50	32		*	18
D01BAÑO MUJER1	50	38		*	12
D01BAÑO MUJER2	50	34		*	16
D01BAÑO MUJER3	50	31		*	19
D01PASILLO	100	40		*	60

Tabla 15. Estado de cumplimiento de los niveles de iluminación establecidos en el Decreto 2393 en el Segundo piso.

Tipo de ambiente	Iluminancia exigida en la normativa	Iluminancia actual	Cumple	No cumple	Necesidades por cubrir
D02AULA-200	300	77		*	223
D02AULA-201	300	112		*	188
D02AULA-202	300	158		*	142
D02AULA-203	300	87		*	213
D02AULA-204	300	150		*	150
D02AULA-205	300	91		*	209
D02AULA-206	300	110		*	190
D02AULA-207	300	78		*	222
D02AULA-208	300	122		*	178
D02AULA-209	300	124		*	176

D02AULA-211	300	100		*	200
D02AULA-212	300	118		*	182
D02AULA-213	300	97		*	203
D02AULA-214	300	109		*	191
D02AULA-215	300	152		*	148
D02SALONROJO	300	212		*	88
D02SALONAZUL	300	126		*	174
D02PASILLO	100	48		*	52
D02BAÑOHOMB1	50	29		*	21
D02BAÑOHOMB2	50	32		*	18
D02BAÑOMUJER1	50	19		*	31
D02BAÑOMUJER2	50	20		*	30

Tabla 16. Estado de cumplimiento de los niveles de iluminación establecidos en el Decreto 2393 en el Tercer piso.

Tipo de ambiente	Iluminancia exigida en la normativa	Iluminancia actual	Cumple	No cumple	Necesidades por cubrir
D03AULA-301	300	84		*	216
D03AULA-302	300	115		*	185
D03AULA-303	300	106		*	194
D03AULA-304	300	86		*	214
D03AULA-305	300	89		*	211
D03AULA-306	300	86		*	214
D03AULA-307	300	90		*	210
D03AULA-308	300	98		*	202
D03AULA-309	300	91		*	209
D03AULA-311	300	122		*	178
D03AULA-312	300	116		*	184

D03AULA-313	300	121		*	179
D03AULA-314	300	99		*	201
D03AULA-315	300	116		*	184
D03PASILLO	100	77		*	23
D03BAÑO HOMB1	50	36		*	14
D03BAÑO HOMB2	50	48		*	2
D03BAÑO MUJER1	50	36		*	14
D03BAÑO MUJER2	50	46		*	4

Tabla 17. Estado de cumplimiento de los niveles de iluminación establecidos en el Decreto 2393 en el Cuarto piso

Tipo de ambiente	Iluminancia exigida en la normativa	Iluminancia actual	Cumple	No cumple	Necesidades por cubrir
D04LABCOMPU3	300	145		*	155
D04LABCOMPU4	300	145		*	155
D04LABCOMPU5	300	135		*	165
D04LABCOMPU6	300	114		*	186
D04LABCOMPU7	300	131		*	169
D04LABCOMPU8	300	123		*	177
D04LABCOMPU10	300	93		*	207
D04DIRADMEMP	300	126		*	174
D04DIRINGIND	300	46		*	254
D04FEUPS-G	300	126		*	174
D01SALADOCEN7	300	141		*	159
D04INSTIIDIOMAS	300	132		*	168
D04LABIDIOMAS	300	226		*	74
D04AULAD-412	300	140		*	160
D04AULAD-413	300	145		*	155

D04AULAD-414	300	143		*	157
D04AULAD415-416	300	168		*	132
D04PASILLO	100	49		*	51
D04BAÑOHOMB1	50	40		*	10
D04BAÑOHOMB2	50	31		*	19
D04BAÑOMUJER1	50	45		*	5
D04BAÑOMUJER2	50	29		*	21

4.5 Análisis del consumo energético del sistema de iluminación actual

Mediante la caracterización de las instalaciones y cuantificación de luminarias en el edificio D se determinaron 4 tipos de áreas: aulas típicas, baños, pasillos, aula docente. En la superficie de la luminaria se puede identificar la potencia de la lámpara, la que, multiplicada por la cantidad de luminarias de un ambiente, por el tiempo que estas permanecen encendidas y por el valor de un kWh de consumo, permite determinar el gasto económico total que representa el consumo energético por concepto de iluminación en esa instalación. La forma de cálculo anterior puede visualizarse en la ecuación (7):

$$E = P \cdot t \cdot T \quad (7)$$

Donde:

E: Gasto económico (\$)

P: potencia consumida (kW)

t: tiempo de uso (h)

T: Tarifa eléctrica (\$/kWh)

Teniendo en cuenta lo anterior, se realiza el cálculo del gasto energético mensual de las instalaciones por concepto de iluminación, tal como se presenta en la Tabla 18.

Tabla 18. Consumo energético y costo mensual de energía en las instalaciones del Edificio D luminaria actual.

Área	Potencia (W)	Puntos de luz	Lámparas por punto	Potencia total (kW)	Horas de uso (h/d)	Días de uso (d/mes)	Consumo Total (Kw)	Costo mensual (\$/Mes)
Aula	17	9	3	0,459	15	24	165,24	14,87
Pasillo	17	27	3	1,38	15	24	495,72	44,62
Baño	17	6	2	0,204	15	24	73,44	6,61
Laborat.	17	9	3	0,459	15	24	165,24	14,87
Sala de docente	17	12	3	0,612	15	24	220,32	19,83
Oficina de dirección de carrera	17	9	3	0,459	15	24	367,2	14,87

Como puede observarse en la Tabla 18 el costo mensual de energía para un aula típica considerando las lámparas actuales sería de aproximadamente 14,87 USD, lo cual multiplicado por el total de aulas del edificio (50) más el consumo de los baños que es de 6,61 USD multiplicado por la cantidad de baños que existen (18), más los pasillos que su consumo es de 44,62 USD por la cantidad de pasillos existentes (3), más el consumo de los laboratorios que es de 14,87 USD multiplicado por la cantidad de laboratorios existentes (8), más las salas docentes que su consumo es 19,83 USD multiplicado por la cantidad existente (5) y las oficinas de dirección de carreras que su consumo es 14,87 USD multiplicado por la cantidad existente (3) arroja un resultado de 1257,56 USD mensuales.

4.6 Propuesta de mejora

En este epígrafe analizaremos la propuesta de mejora para las instalaciones del Edificio D del Campus, tomando en consideración la disminución de los gastos por consumo eléctrico de las luminarias y el cumplimiento de las normas nacionales e internacionales en materia de iluminación.

4.6.1 Selección de luminarias

De manera general, como pudo visualizarse en secciones anteriores, el tipo de lámpara de uso común en las instalaciones del edificio D son fluorescentes de 17 y 18W que están colocadas de 2 a 3 luminarias por punto de luz. Parte de la propuesta de mejoras que exponen los autores es la sustitución de estas luminarias por tecnología LED, dado que dichas luminarias resultan más económicas, tienen una vida útil más larga, y baja potencia como se muestra en la Tabla 19 donde se indican las características más importantes de alternativas de luminarias disponibles en el mercado ecuatoriano.

Tabla 19. Características de alternativas de luminarias disponibles en el mercado.

Marca	Modelo	Potencia (W)	Tiempo de vida (h)	Rendimiento de color* (IRC)	Eficiencia (Lm/W)	Precio mayorista (\$)	Tipo de luz
Sylvania	P24994-36	9	25000	70	89	3.70	Blanca
Americanlite	AL572518	9	40000	80	130	3.90	Blanca
Ledex	P16102	9.5	30000	75	77	3.50	Blanca
Ace	T8 Esmerilada	9	25000	75	100	3.60	Blanca
Evergreen	7,59376E12	10	30000	75	90	3.60	Blanca

* El rendimiento de color se mide a través del IRC, que es el Índice de reproducción cromática.

Fuente: Los autores

Con el fin de seleccionar la mejor alternativa se aplicará un método de decisión multicriterio. A continuación, se formaliza el problema multicriterio discreto:

Sean las alternativas:

A₁: Modelo P24994-36 de Sylvania

A₂: Modelo AL572518 de Americanlite

A₃: Modelo P16102 de Ledex

A₄: Modelo T8 Esmerilada de Ace

A₅: Modelo 7,59376E+12 de Evergreen

Sean los criterios de decisión:

C₁: Potencia (W)

C₂: Tiempo medio de vida (h)

C₃: Precio mayorista (\$)

C₄: IRC

C₅: Eficiencia (Lm/W)

Denotamos por y_{ik} , los resultados de evaluar la alternativa de luminaria i en el criterio k , como en la matriz a continuación:

	C1	C2	Cn
A1	y_{11}	y_{12}	y_{1n}
A2	y_{21}	y_{22}	y_{2n}
.	.	.		.
.	.	.		.
.	.	.		.
A _p	y_{p1}	y_{p2}	y_{pn}

De tal forma, la matriz de criterios aplicada al objeto de estudio práctico en este proyecto quedaría como sigue:

	C1	C2	C3	C4	C5
A1	9	25000	3.70	70	89
A2	9	40000	3.90	80	130
A3	9.5	30000	3.50	75	77
A4	9	25000	3.60	75	100
A5	10	30000	3.60	75	90

Nótese que los criterios potencia y precio mayorista son de minimización, mientras que la vida útil, el rendimiento del color, la eficiencia y el ángulo de iluminación son de maximización. El tipo de luz corresponde a una variable cualitativa nominal que no se considerará en la decisión pues se tendrán en cuenta solamente alternativas de luminaria con luz blanca, que es la más adecuada para el desarrollo de actividades académicas. Como puede verse los elementos de la matriz poseen una heterogeneidad marcada, dado por su naturaleza, lo cual obliga a ser medida en magnitudes específicas y en rangos determinados. Por ello, en este caso para poder dar tratamiento matemático a la homogenización de la matriz se aplica el Método de transformación lineal a escala.

- Si el atributo es un criterio de máximo los valores de y_{ij} se determinan mediante la siguiente expresión:

$$y_{ij} = \frac{y_{ij}}{\text{Max } y_{ij}} \quad (8)$$

- Si el atributo es un criterio de mínimo se realiza la siguiente transformación:

$$y_{ij} = 1 - \frac{y_{ij}}{\text{Max } y_{ij}} \quad (9)$$

En el caso que nos ocupa la matriz homogeneizada resulta:

	C1	C2	C3	C4	C5
A1	0.1	0.625	0.05	0.875	0.68
A2	0.1	1	0	1	1
A3	0.05	0.75	0.10	0.9375	0.59
A4	0.1	0.625	0.08	0.9375	0.77
A5	0	0.75	0.08	0.9375	0.69

Para tomar la decisión de qué alternativa optar es necesario la ponderación (w) de cada criterio j , lo cual se realizará mediante el Método de Füller. De acuerdo al método, se realiza una matriz de comparaciones pareadas valorando de 1 al criterio i (fila) si este es

más importante que el criterio j (columna), y 0 en caso contrario. Luego las ponderaciones se determinan mediante la siguiente fórmula:

$$w_j = \frac{\sum_{i=1}^n p_{ij}}{\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n p_{ij}} \quad (10)$$

Donde p_{ij} representa las valoraciones de importancia (0;1) para cada par posible de factores.

En el caso particular de este trabajo, una vez aplicado el método resultaron las ponderaciones que se presentan en la última columna de la matriz homogenizada, la misma que ilustra las comparaciones pareadas respecto a la importancia entre los criterios de acuerdo al juicio de los autores (ver Tabla 20).

Tabla 20. Estimación de ponderaciones de los criterios de decisión

	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	Σp_{ji}	w_j
C ₁	1	1	1	1	1	5	0.2777
C ₂	1	1	1	1	1	5	0.2777
C ₃	1	1	1	1	1	5	0.2777
C ₄	0	0	0	1	0	1	0.0555
C ₅	0	0	0	1	1	2	0.1111
$\Sigma \Sigma p_{ji}$						18	1

Para la definición de la alternativa de luminaria más adecuada al contexto práctico de este proyecto aplicaremos el Método de los pesos aditivos, el cual consiste en seleccionar como mejor alternativa aquella que:

$$\max E(A_i) = \sum_{j=1}^n y_{ij} \cdot w_j \quad (11)$$

De tal forma, al calcular los valores esperados $E(A_i)$ para cada alternativa como se presenta en la Tabla 21, se concluye que la alternativa de luminaria LED más adecuada de acuerdo a los criterios de decisión definidos es la Luminaria Modelo AL572518 de Americanlite (A_2), las mismas que sustituirán las luminarias fluorescentes que están presentes en la mayoría de las instalaciones del edificio.

Tabla 21. Evaluación de las alternativas de luminaria respecto a los criterios de decisión.

	Ponderaciones (w_j)					ΣA_i
	0.2777	0.2777	0.2777	0.0555	0.1111	
	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	
A_1	0.1	0.625	0.05	0.875	0.68	0.33932
A_2	0.1	1	0	1	1	0.47207
A_3	0.05	0.75	0.10	0.9375	0.59	0.36751
A_4	0.1	0.625	0.08	0.9375	0.77	0.36112
A_5	0	0.75	0.08	0.9375	0.69	0.35918

La luminaria seleccionada Americanlite AL572518 tiene una potencia de 9W, una vida útil de 40000 h, IRC de 80 y su eficiencia es de 130 lm/w.

4.6.2 Estudio del gasto energético de las luminarias LED

Teniendo en cuenta la lámpara seleccionada en la sección anterior, se realiza el cálculo estimado del gasto energético mensual por concepto de iluminación de las instalaciones, tal como se presenta en la Tabla 22. Como puede observarse en la misma, el costo mensual de energía para un aula típica considerando tecnología LED sería de aproximadamente 7,87 USD, lo cual multiplicado por el total de aulas del edificio (50) más el consumo de los baños que es de 3.50 USD multiplicado por la cantidad de baños que existen (18) los

pasillos que su consumo es de 23,62 USD por la cantidad de pasillos existentes (3), el consumo de los laboratorios es de 7,87 USD, multiplicado por la cantidad de laboratorios existentes (8), las salas docentes que su consumo es 10,50 USD, , multiplicado por la cantidad existente (5) y las oficinas de dirección de carreras que su consumo es 7,87 USD multiplicado por la cantidad existente (3) arroja un resultado de 666,43 USD mensuales.

Tabla 22. Consumo energético y costo mensual estimado de energía en las instalaciones del Edificio“D”.

Área	Potencia de la lámpara (W)	Puntos de luz	Lámparas por punto	Potencia total (kW)	Horas de uso (h/d)	Días de uso (d/mes)	Consumo Total (Kw)	Costo mensual (\$/Mes)
Aula	9	9	3	0,243	15	24	87,48	7,87
Pasillo	9	27	3	0,729	15	24	262,44	23,62
Baños	9	6	2	0,108	15	24	38,88	3,50
Laborat.	9	9	3	0,243	15	24	87,48	7,87
Sala de docente	9	12	3	0,324	15	24	116,64	10,50
Oficina de dirección de carrera	9	9	3	0,243	15	24	194,4	7,87

4.6.3 Guía para la sustitución del sistema de iluminación actual por tecnología LED

Dado el alto costo de cambiar todas las luminarias de una sola vez, se recomienda que la reposición de luminarias se priorice en aquellos lugares donde son más necesarias, o sea, donde existe una mayor necesidad de iluminancia para cumplir los estándares de calidad de iluminación que propone la normativa nacional e internacional, y con el tiempo ir cambiando el resto de forma paulatina hasta que se cubran todas las necesidades del edificio. Así, como parte de la propuesta de mejoras que se presenta en esta tesis, se propone la guía de recambio que se representan en las Tablas 23, 24, 25 y 26, las cuales

fueron realizadas teniendo en cuenta las Tablas 14, 15 16 y 17 en lo referido al cumplimiento de la normativa, y las necesidades de iluminación por cubrir en cada caso.

Tabla 23. Guía para la sustitución de las luminarias actuales por tecnología LED Primer piso.

Local	Nivel de iluminación por cubrir	Cantidad de luminarias	Monto de la inversión	Fecha propuesta para la reposición
Edificio D Primer Piso				
D01CAPILLA	0	38	\$ 0	-
D01AULA-C100	99	18	\$70.20	Año 3
D01AULA-C102	25	18	\$70.20	Año 3
D01AULA-C103	56	18	\$70.20	Año 3
D01AULA-C104	35	18	\$70.20	Año 3
D01AULA-C105	55	18	\$70.20	Año 3
D01AULA100	184	27	\$105.30	Año 1
D01AULA102	166	27	\$105.30	Año 1
D01AULA104	185	27	\$105.30	Año 1
D01AULA105	185	27	\$105.30	Año 1
D01AULA106	169	27	\$105.30	Año 1
D01AULA107	165	27	\$105.30	Año 2
D01AULA108	178	27	\$105.30	Año 1
D01AULA109	167	27	\$105.30	Año 1
D01AULA111	142	18	\$70.20	Año 3
D01AULA112	214	13	\$50.70	Año 0
D01AULA113	177	18	\$70.20	Año 1
D01AULA114	170	18	\$70.20	Año 1
D01TEATRO-ESCE	0	24	\$0	-
D01TEATRO-GEN	0	49	\$0	-
D01SALDOCEN1C	154	18	\$70.20	Año 3

D01SALADOCEN2	191	18	\$70.20	Año 2
D01SALADOCEN3	250	96	\$70.20	Año 0
D01DPTOMEDICO	75	12	\$46.80	Año 3
D01BODEGA	160	3	\$11.70	Año 2
D01EXTERIOR	36	44	\$171.60	Año 3
D01MALECON	0	76	\$296.40	Año 3
D01BAR	0	12	\$46.80	Año 3
D01CENDECOPIA	0	18	\$70.20	Año 3
D01BAÑOHOMB1	6	10	\$39	Año 3
D01BAÑOHOMB2	8	14	\$54.60	Año 3
D01BAÑOHOMB3	18	12	\$46.80	Año 3
D01BAÑOMUJER1	12	12	\$46.80	Año 3
D01BAÑOMUJER1	16	12	\$46.80	Año 3
D01BAÑOMUJER1	19	12	\$46.80	Año 3
D01PASILLO	60	99	\$386.10	Año 3

Tabla 24. Guía para la sustitución de las luminarias actuales por tecnología LED
Segundo piso.

Local	Nivel de iluminación por cubrir	Cantidad de luminarias	Monto de la inversión	Fecha propuesta para la reposición
Edificio D				
Segundo Piso				
D02AULA-200	223	27	\$105.30	Año 0
D02AULA-201	188	27	\$105.30	Año 1
D02AULA-202	142	27	\$105.30	Año 2
D02AULA-203	213	27	\$105.30	Año 0
D02AULA-204	150	27	\$105.30	Año 2
D02AULA-205	209	27	\$105.30	Año 0

D02AULA-206	190	27	\$105.30	Año 1
D02AULA-207	222	27	\$105.30	Año 0
D02AULA-208	178	27	\$105.30	Año 1
D02AULA-209	176	27	\$105.30	Año 2
D02AULA-211	200	18	\$70.20	Año 0
D02AULA-212	182	18	\$70.20	Año 1
D02AULA-213	203	18	\$70.20	Año 0
D02AULA-214	191	18	\$70.20	Año 2
D02AULA-215	148	36	\$140.40	Año 2
D02SALONROJO	88	34	\$0	-
D02SALONAZUL	174	81	\$0	-
D02PASILLO	52	90	\$351	Año 3
D02BAÑOHOMB1	21	10	\$39	Año 3
D02BAÑOHOMB2	18	12	\$46.80	Año 3
D02BAÑOMUJER1	31	10	\$39	Año 3
D02BAÑOMUJER2	30	12	\$46.80	Año 3

Tabla 25. Guía para la sustitución de las luminarias actuales por tecnología LED Tercer piso.

Local	Nivel de iluminación por cubrir	Cantidad de luminarias	Monto de la inversión	Fecha propuesta para la reposición
Edificio D Tercer Piso				
D03AULA-301	216	27	\$105.30	Año 0
D03AULA-302	185	27	\$105.30	Año 1
D03AULA-303	194	27	\$105.30	Año 1
D03AULA-304	214	27	\$105.30	Año 0
D03AULA-305	211	27	\$105.30	Año 0
D03AULA-306	214	27	\$105.30	Año 0

D03AULA-307	210	27	\$105.30	Año 0
D03AULA-308	202	27	\$105.30	Año 0
D03AULA-309	209	27	\$105.30	Año 0
D03AULA-311	178	18	\$70.20	Año 2
D03AULA-312	184	18	\$70.20	Año 2
D03AULA-313	179	18	\$70.20	Año 2
D03AULA-314	201	18	\$70.20	Año 1
D03AULA-315	184	36	\$140.40	Año 2
D03PASILLO	0	93	\$358.80	Año 3
D03BAÑOHOMB1	14	10	\$39	Año 3
D03BAÑOHOMB2	2	14	\$54.60	Año 3
D03BAÑOMUJER1	14	10	\$39	Año 3
D03BAÑOMUJER2	4	12	\$46.80	Año 3

Tabla 26. Guía para la sustitución de las luminarias actuales por tecnología LED Cuarto piso.

Local	Nivel de iluminación por cubrir	Cantidad de luminarias	Monto de la inversión	Fecha propuesta para la reposición
Edificio D				
Cuarto Piso				
D04LABCOMPU3	155	27	\$105.30	Año 2
D04LABCOMPU4	155	36	\$140.40	Año 2
D04LABCOMPU5	165	27	\$105.30	Año 2
D04LABCOMPU6	186	27	\$105.30	Año 2
D04LABCOMPU7	169	27	\$105.30	Año 2
D04LABCOMPU8	177	27	\$105.30	Año 2
D04LABCOMPU10	207	27	\$105.30	Año 0

D04DIRADMEMP	174	27	\$105.30	Año 2
D04DIRINGIND	254	16	\$62.40	Año 0
D04FEUPS-G	174	9	\$35.10	Año 1
D01SALADOCEN7	159	27	\$105.30	Año 2
D04INSTIIDIOMAS	168	18	\$70.20	Año 2
D04LABIDIOMAS	74	27	\$105.30	Año 3
D04AULAD-412	160	18	\$70.20	Año 2
D04AULAD-413	155	18	\$70.20	Año 2
D04AULAD-414	157	18	\$70.20	Año 2
D04AULAD415-416	132	36	\$140.40	Año 2
D04PASILLO	1	87	\$339.30	Año 3
D04BAÑOHOMB1	10	8	\$31.20	Año 1
D04BAÑOHOMB2	19	14	\$54.60	Año 1
D04BAÑOMUJER1	5	10	\$31.20	Año 3
D04BAÑOMUJER2	21	16	\$62.40	Año 3

El monto de la inversión se calculó mediante el producto de la cantidad de luminarias por el precio mayorista de la luminaria. Este monto no incluye el valor por concepto de mano de obra, pues las labores de sustitución de luminarias serían realizadas por el personal de mantenimiento de la UPS, quienes reciben un salario fijo mensual.

Evidentemente el recambio de luminarias debe realizarse en algún momento en donde no se interrumpan los procesos de enseñanza-aprendizaje.

4.7 Validación de la propuesta de mejora

En esta sección se validarán las propuestas de mejora sugeridas por los autores de este trabajo respecto a la situación del sistema de iluminación actual. Por un lado, la máxima dirección de la Universidad podría valorar dos estrategias: (1) implementar las mejoras basadas en tecnología LED que se proponen en este estudio o (2) continuar con el sistema de iluminación actual basado en tecnología fluorescente.

Para validar las propuestas de mejora, a continuación, se realizará una simulación en DIALux (validación técnica) y se hará una estimación tanto del ahorro energético como del ahorro económico que representaría su implementación en el Edificio D. Además, mediante el cálculo del costo anual equivalente se compararán ambas propuestas.

4.7.1 Validación técnica

Aquí se realiza una simulación mediante DIALux 4.12 para determinar cuáles serían los valores de iluminancia que se obtendrían en las áreas en estudio si se implementaran las luminarias que se proponen en la sección 4.6.

Para lo antes mencionado se realizó una simulación teniendo en cuenta la luminaria marca Americanlite Modelo AL572518 a través del programa DIALux, el cual nos reflejó el siguiente resultado (ver Figura 27), donde se observa que el aula simulada es color azul en el puesto de trabajo, lo que nos indica que se llega a los 300 luxes que se requieren para cumplir los requerimientos de la normativa. Esto valida la idoneidad de la luminaria seleccionada para las instalaciones del edificio D, que son en su mayoría aulas.

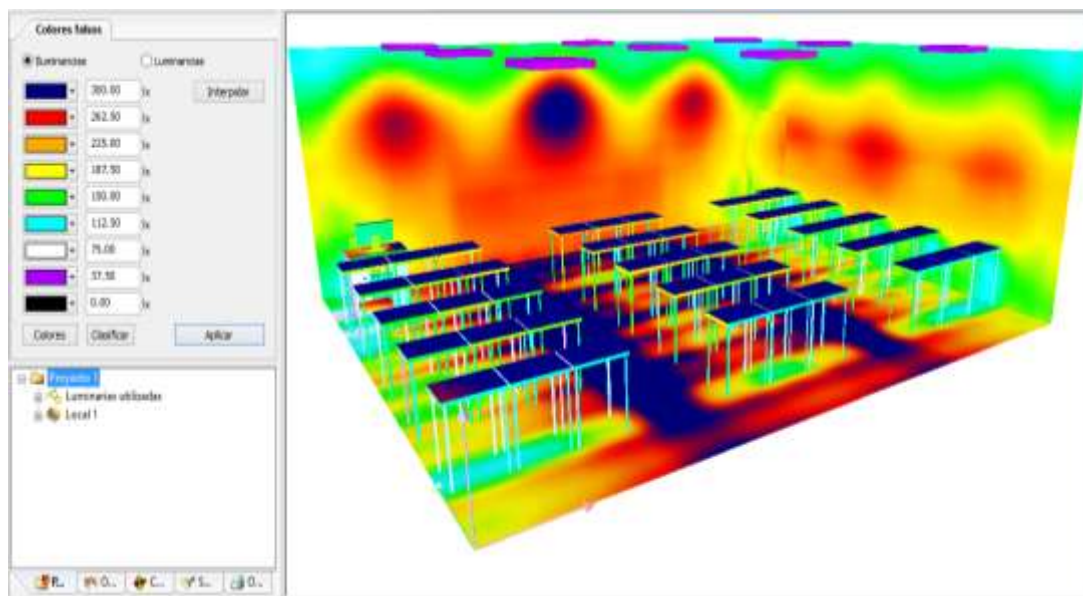


Figura 27. Representación de valores de iluminancia simulados.

Fuente: DIALux 4.12

4.7.2 Validación económica

La sustitución de las luminarias fluorescentes actuales por tecnología LED en el edificio D de la UPS puede considerarse como un proyecto de inversión donde los ingresos no son relevantes, sino los costos. En estos casos, el cálculo del costo anual uniforme equivalente (CAUE) para cada alternativa en estudio puede ser un buen criterio de validación económica, sobre todo cuando estas alternativas tienen tiempos de vida diferentes.

La propuesta de validación económica consistirá en calcular el CAUE para cada una de las dos alternativas de proyectos mutuamente excluyentes:

Alternativa 1: Implementar las mejoras basadas en tecnología LED que se proponen en este estudio.

Alternativa 2: Continuar con el sistema de iluminación actual basado en tecnología fluorescente.

Para el cálculo de los valores presentes de los costos fue utilizada una tasa de interés activa de 7.26% tal como estableció el Banco Central del Ecuador para marzo del 2018 [<https://www.bce.fin.ec/index.php/informacioneconomica/>].

Para la alternativa 1, los posibles egresos durante el horizonte temporal del proyecto se presentan en la Tabla 27. Para la alternativa 2, por su parte, los egresos se registran en la Tabla 28.

Vale destacar que en la alternativa 1 se ha considerado comprar nuevas luminarias cada año y de forma sucesiva, con el monto económico que se ahorra la Institución el año precedente por el uso de la tecnología LED frente a la tecnología fluorescente. La estimación de estos valores se detalla en la Tabla 29.

Tabla 27. Costos de la alternativa 1 (sistema de iluminación actual).

Costos	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Adquisición de luminarias	1891,50	296,04	2710,50	3989,70	0	0	0	0	0	1891,50	1509,30
Consumo energético anual LED	1697,11	3051,30	5483,24	9062,93	9062,93	9062,93	9062,93	9062,93	9062,93	9062,93	9062,93
Consumo energético anual fluorescente	13913,21	11355,29	6761,62	0	0	0	0	0	0	0	0
Disposición final de lámparas fluorescentes	1222,20	975,24	1751,40	2577,96	0	0	0	0	0	1222,20	975,24
Costo Total	18724,02	15677,87	16706,76	15630,59	9062,93	9062,93	9062,93	9062,93	9062,93	12176,63	11547,47
Valor Presente	18724,02	14616,70	14521,67	12666,66	6847,27	6383,81	5951,71	5548,86	5173,28	6480,18	5729,40

Fuente: Elaboración propia

Tabla 28. Costos de la alternativa 2 (sistema de iluminación basado en LEDs).

Costo	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Adquisición de luminaria	679	541,80	973	1432,20	0	679	541,80	973	1432,20	0	679
Consumo energético anual	17118,86	17118,86	17118,86	17118,86	17118,86	17118,86	17118,86	17118,86	17118,86	17118,86	17118,86
Disposición final de lámparas fluorescente	1222,20	975,24	1751,40	2577,96	0	1222,20	975,24	1751,40	2577,96	0	1222,20
Costo Total	19020,06	18635,90	19843,26	21129,02	17118,86	19020,06	18635,90	19843,26	21129,02	17118,86	19020,06
Valor Presente	19020,06	17374,51	17247,95	17122,45	12933,73	13397,47	12238,37	12149,22	12060,83	9110,34	9437,00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 29. Desagregación de montos dedicados a la compra de nuevas luminarias con el ahorro anual que representa el uso de tecnología LED frente a la tecnología fluorescente.

Fecha	Consumo energético (USD)		Ahorro	Cantidad de luminarias*
	Alternativa 1	Alternativa 2		
Año 0	\$15610,32	\$17118,86	\$1508,54	387
Año 1	\$14406,59	\$17118,86	\$2712,27	695
Año 2	\$12244,86	\$17118,86	\$4874	1250
Año 3	\$9062,93	\$17118,86	\$8055,93	-
Año 4	\$9062,93	\$17118,86	\$8055,93	-
Año 5	\$9062,93	\$17118,86	\$8055,93	-
Año 6	\$9062,93	\$17118,86	\$8055,93	-
Año 7	\$9062,93	\$17118,86	\$8055,93	-
Año 8	\$9062,93	\$17118,86	\$8055,93	-
Año 9	\$9062,93	\$17118,86	\$8055,93	2066
Año 10	\$9062,93	\$17118,86	\$8055,93	2066

Nota: * Representa la cantidad de luminarias LED Modelo AL572518 de Americanlite que pueden comprarse cada año con el monto que representa el ahorro energético por el uso de esta tecnología.

Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en la Tabla 29 en los años 2, 9 y 10 con el ahorro se podrían comprar 1250, 2066 y 2066 luminarias, sin embargo, solo son necesarias 1023, 485 y 387 luminarias respectivamente.

También vemos en la Tabla 29 existen espacios en blancos en los años 3,4,5,6,7 y 8 porque desde el año 0 hasta el año 2 ya se han comprado y reemplazado las luminarias existentes por las luminarias LED y ya no será necesario comprar más luminarias.

Luego con los costos de la Tabla 27 y la Tabla 28 se determinan los valores del CAUE para cada alternativa. Estos valores se presentan en el flujo de efectivo que se muestra en la Tabla 30.

$$CAUE = \sum_{j=1}^n VP_j \left[\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right] \quad (12)$$

$$CAUE_{Fluorescente} = 152091,93 \left[\frac{0,0726(1+0,0726)^{10}}{(1+0,0726)^{10}-1} \right] = 21915,53$$

$$CAUE_{LED} = 102643,56 \left[\frac{0,0726(1+0,0726)^{10}}{(1+0,0726)^{10}-1} \right] = 14790,56$$

Como puede apreciarse la alternativa basada en tecnología LED tiene menor CAUE, lo que significa que es más factible desde el punto de vista económico.

4.7.3 Impacto en el ahorro energético y económico

El ahorro energético que podría obtenerse con la implementación de las mejoras se determina mediante la ecuación 13.

$$Ahorro\ energético\ mensual = \left(1 - \frac{C_{LED}}{C_{actual}} \right) \cdot 100 \quad (13)$$

Donde:

C_{LED} : Consumo energético mensual del sistema de iluminación considerando tecnología LED.

C_{actual} : Consumo energético mensual del sistema de iluminación actual, basado en tecnología fluorescente.

Para desarrollar esta ecuación, es necesario el cálculo del consumo energético mensual del sistema de iluminación considerando tecnología LED y el sistema actual basado en tecnología fluorescente.

El cálculo del ahorro global se determina como sigue:

$$C_{LED} = 2590\ lámparas \cdot 9 \frac{W}{lámpara} \cdot \frac{15h}{d} \cdot \frac{24d}{m} \cdot \frac{0.001kW}{W} = 8391.60\ kWh/m$$

$$C_{actual} = 2590\ lámparas \cdot 17 \frac{W}{lámpara} \cdot \frac{15h}{d} \cdot \frac{24d}{m} \cdot \frac{0.001kW}{W} = 15850.80\ kWh/m$$

Tabla 30. Valores de CAUE para cada alternativa.

Alternativas	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
1) Tecnología LED	14790,56	14790,56	14790,56	14790,56	14790,56	14790,56	14790,56	14790,56	14790,56	14790,56
2) Tecnología fluorescente	21915,53	21915,53	21915,53	21915,53	21915,53	21915,53	21915,53	21915,53	21915,53	21915,53

Fuente: Elaboración propia

$$Ahorro = 1 - \left(\frac{8391.60 \frac{kWh}{m}}{15850.80 \frac{kWh}{m}} \right) \cdot 100 = 52.94\%$$

El ahorro económico estimado para este edificio si se implementa la propuesta de sustitución de las lámparas fluorescentes actuales por aquellas seleccionadas en este trabajo de tecnología LED (Modelo AL572518 de la Marca Americanlite), fue de \$671,33 mensuales, o lo que es lo mismo \$8055,96 anuales, lo que se considera un ahorro relevante para la Universidad.

CONCLUSIONES

En base a los objetivos planteados en esta investigación, obtiene los siguientes objetivos:

1. La Auditoria lumínica realizada al edificio D del Campus Centenario de la Universidad Politécnica Salesiana de Guayaquil, revelo el alto consumo energético, económico que mantiene la institución, por lo que se propuso una mejora a través de la implementación de iluminación LED, de manera progresiva, presentando una guía sustitutiva de las iluminarias.
2. Como parte de este trabajo se hicieron 4 mediciones promedio de iluminancia por cada una de las aulas locales del edificio D por medio de dos luxómetros marca AMPROVE. De igual manera se caracterizaron 1054 puntos de luz y se midieron las distancias de estos hasta la superficie de trabajo con un distanciómetro marca CAPITAL. Estos datos permitieron, después del respectivo análisis, la identificación de oportunidades de mejora del sistema de iluminación actual en el edificio D de la UPS. Las mediciones fueron realizadas en la noche, de lunes a sábado, en horarios comprendidos desde las 18h00 hasta las 22h00.
3. Se identificó que el 97 % de las instalaciones del Edificio D no cumplen con los requerimientos de iluminación que acoge la normativa nacional (Decreto 2393 Reglamento de Seguridad Laboral, IESS 2009) y la norma europea UNE 12464.1 reformada en el 2003.
4. La simulación de un aula típica empleando como datos de entrada los referentes a la lámpara Modelo AL572518 de la Marca Americanlite seleccionada como idónea en este trabajo por parte de los autores, permite predecir un total cumplimiento de 300 lx sobre la superficie de trabajo, permitiendo cumplir los estándares nacionales e internacionales usados como referencia en este proyecto.
5. Dado el alto costo de sustituir todo el sistema de iluminación actual por tecnología LED de una vez, la guía de reposición de luminarias presentada en este proyecto técnico permitirá a la institución priorizar el recambio en aquellas instalaciones que tienen mayores necesidades de iluminancia por cubrir para cumplir la normativa nacional e internacional. El primer año la inversión sería de \$3113,70, y el resto de los años las nuevas luminarias se irán comprando con el ahorro que

representa el uso de luminarias LED de baja potencia (9 W/h) respecto a las antiguas lámparas fluorescentes.

6. Desde el punto de vista económico, la alternativa de sustituir todo el sistema de iluminación actual por tecnología LED de forma progresiva tendría un costo anual uniforme equivalente de \$14790,56 valor inferior al de \$21915,53 que representaría mantener el sistema actual basado en tecnología fluorescente. Lo anterior muestra que la primera alternativa es válida desde el punto de vista económico.
7. De implementarse la estrategia de solución presentada en este trabajo, la Universidad Politécnica Salesiana gozaría de un ahorro energético anual del 52,94 %, lo que en valor económico representa \$8055,9 anuales.

RECOMENDACIONES

En base a lo concluido, los autores de este trabajo recomiendan a la dirección de la Universidad Politécnica Salesiana en su sede de Guayaquil, que considere la implementación de la estrategia presentada en este proyecto técnico, que consiste en la sustitución progresiva de las luminarias fluorescentes que conforman el sistema de iluminación actual del edificio D, por aquellas con tecnología LED. La duración total del cambio de tecnología en el sistema duraría solamente 3 años y representaría un ahorro en el consumo de energía eléctrica anual del 52,94 %.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] R. L. Serrazina, «Auditoria electrica,» Mexico, 2015.
- [2] J. Menesi, «Iluminando las Ciudades,» Madrid, 2013.
- [3] L. Morales, «repositorio.utc.edu.ec,» Fundamentos Teoricos sobre la iluminaciòn de un aula, 2015. [En línea]. Available: <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/1683/1/T-UTC-1557.pdf>. [Último acceso: 26 Febrero 2018].
- [4] H. Michinel, « Con las bombillas LED el Concello podría ahorrarse un millón al año,» *Periódico Digital de Galicia, España*, p. 27, 22 Mayo 2016.
- [5] P. Fernandez, «Crean en Galicia una bombilla que ahorra un 80% de energía,» *La Voz de Galicia*, p. 36, 8 Diciembre 2012.
- [6] Doctor Michinel, «La iluminación basada en las tecnologías de LED,» Smart Lighting, Información y Negocios para Nuevos Tiempos, 2016.
- [7] D. g. d. i. d. Madrid, «Guia Tecnica de iluminacion eficiente,» Gráficas Arias Montano, S.A., Madrid, 2016.
- [8] J. L. Bohorquez, «Iluminación LED,» *Revista Energías Renovables*, vol. 24, nº 2, p. 37, 2015.
- [9] M. P. G. Sanz, «Iluminaciòn en el puesto de trabajo. Criterios para su evaluaciòn y acondicionamiento,» *Ministerio de empleo y seguridad social España*, pp. 25-28, 2016.
- [10] UNE 12464.1, «Norma Europea sobre iluminacion para interiores,» Saltoki, Pamplona, 2003.
- [11] I.D.A.E., «Guía Técnica de Eficiencia Energética en Iluminación. Oficinas,» Publicaciones Técnicas IDAE, Madrid, 2010.
- [12] ANFALUM, «Guia sobre Tecnología LED en alumbramiento,» de *Madrid ahorra con Energia*, Madrid, España, 2015, pp. 10-15.
- [13] D. F. A. Correa, *Iluminaciòn pública basàda en tecnologia LED*, Valencia: Universidad Politècnica de Valencia, 2014.
- [14] «StreetSMART,» *Traffic Technology Today*, Enero 2010.
- [15] C. L. Jimeno, «LED en el alumbrado,» BOCM, Madrid, 2015.

- [16] I. N. d. S. e. H. e. e. Trabajo, Iluminación en el puesto de trabajo. Criterios para la evaluación y acondicionamiento de los puest, Madrid: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT), Diciembre 2015.
- [17] I. E. d. S. S. IESS, «Reglamento de seguridad y salud de los trabajadores y mejoramiento del medio ambiente de trabajo,» Quito, 2009.
- [18] G. Giovanni., «www.gestiopolis.com,» Evaluación financiera de proyectos: CAUE, VPN, TIR, B/C, PR, CC. , 11 Octubre 2001. [En línea]. Available: <https://www.gestiopolis.com/evaluacion-financiera-de-proyectos-caue-vpn-tir-bc-pr-cc/>. [Último acceso: 1 abril 2018].
- [19] Philips, «Introducción al Alumbrado.,» Ibérica SA, 2012.
- [20] J. O. G. Jimenez, Artist, *Simulacion numerica del comportamiento termico de disipadores de calor pasivos para iluminacion LED mediante software basado en elementos finitos*. [Art]. Universidad Politecnica de Valencia - Departamento de Matematica Aplicada.
- [21] «Iluminando las Ciudades,» de *Acelerando el Despliegue de Soluciones de Iluminación Innovadoras en las Ciudades Europeas*, Unìon Europea, Junio 2013.

ANEXOS

Anexo # 1. Salvoconducto



Guayaquil, 22 de junio del 2017

Salvoconducto

Se extiende el presente permiso para que tanto el Docente como estudiantes que se detallan a continuación puedan ingresar a las aulas desde el 22 de junio del presente año hasta el 30 de agosto 2017, los siete días de la semana en horario de 07H00 a 22H00, los mismos estarán realizando mediciones para una actividad de Auditoría Lumínica en todas las instalaciones de la UPS Sede Guayaquil, por lo antes expuesto, mucho agradeceré su colaboración para que los señores: Dr. Joan Vázquez Molina, docente a cargo del proyecto y los estudiantes: Luis Fernando Velecela, Jorge Bolaños, Santiago Novillo y Kevin Terán puedan llevar a cabo sus actividades sin ninguna interferencia.

Particular que informo para los fines pertinentes, se despide,

Atentamente,

Eco. Andrés Bayolo Garay, MFI
Vicerrector de Sede

S./García

